

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



# Certificação energética de grandes edifícios existentes: aplicação, potencialidades e limitações

Pedro Rudolfo Martins Nunes

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

2009

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



# Certificação energética de grandes edifícios existentes: aplicação, potencialidades e limitações

Pedro Rudolfo Martins Nunes

**Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Trabalho realizado sob a supervisão de

Professor Doutor Guilherme Carrilho da Graça (FCUL, NaturalWorks)

2009

## **Agradecimentos**

Ao Professor Guilherme Carrilho da Graça, pela sua extraordinária capacidade de separar o essencial do acessório e apontar sempre a direcção correcta ao longo de todas as fases do trabalho. Igualmente por me ter proporcionado o abraçar deste projecto e a inserção durante a sua fase de execução na empresa NaturalWorks. Aqui, pude contactar com novos métodos de trabalho, que não tenho dúvida que serão determinantes no meu desenvolvimento profissional futuro.

À Eng.<sup>a</sup> Maria Lerer por ter partilhado comigo o seu valioso conhecimento em matéria de física de edifícios e simulação computacional. O seu apoio nas fases executivas do trabalho foi determinante.

Aos Eng.ºs Pedro Paredes e João Freitas, que me auxiliaram na avaliação de custos para a componente económica dos cenários de optimização energética. Ao Eng.º Duarte Brandão, que me ajudou no contacto com novas ferramentas de trabalho quando cheguei à NaturalWorks.

## Resumo

A eficiência energética em edifícios revela-se de particular importância no prosseguimento dos objectivos internacionais na área do clima-energia, dado ser um sector que representa cerca de 40% de toda a energia primária consumida, com perspectivas de forte crescimento em consumo absoluto. Em Portugal, a aplicação recente do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE) representa um passo importante na promoção dessa eficiência energética e cumprimento das metas nacionais no tocante à emissão de gases com efeito de estufa. O presente trabalho consiste na aplicação do SCE a um grande edifício de serviços pombalino (o dos Paços do Concelho da Câmara Municipal de Lisboa). No contexto da auditoria realizada, estudaram-se cenários de optimização energética, sempre numa perspectiva de custo/benefício. Com base nos resultados obtidos e através de um exame aos princípios que estão subjacentes a qualquer sistema de certificação energética, reflectiu-se sobre as limitações de que o SCE padece, que consistem igualmente em oportunidades de melhoria.

**Palavras-chave:** certificação energética, eficiência energética, simulação energética, edifícios de serviços

## **Abstract**

Energy efficiency in buildings is of particular importance in the pursuit of international objectives in the area of climate and energy, as it is a sector that represents about 40% of primary energy demand, with strong growth prospects in absolute consumption. In Portugal, the recent implementation of the Energy Certification System and Indoor Air Quality (SCE) is an important step in the promotion of energy efficiency and achievement of the national targets regarding the emission of greenhouse gases. This work involves the application of the SCE to a large building of the tertiary sector, the Lisbon City Hall. In the context of the audit performed, different energy optimization scenarios were defined, always in a cost-benefit perspective. Based on the results obtained and through an examination of the principles that underlies any system of energy certification, it was done a qualitative reflection on the limitations that the SCE suffers, which are also opportunities for improvement.

**Keywords:** energy certification, energy efficiency, energy simulation, office buildings

# Índice

1.	Introdução.....	1
2.	Regulamentação energética no sector dos edifícios em Portugal .....	7
2.1	Regulamentação prévia .....	7
2.2	A directiva europeia 2002/91 .....	9
2.2.1	Âmbito.....	10
2.2.2	Certificados, normas mínimas e inspecções .....	10
2.3	O sistema português de certificação energética.....	11
2.3.1	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior.....	11
2.3.2	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios .....	14
2.3.3	Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios.....	19
2.4	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia.....	20
3.	Simulação dinâmica computacional .....	21
3.1	Desenvolvimento da simulação computacional .....	21
3.2	Porquê simular?.....	22
3.3	Software EnergyPlus .....	24
4.	Caso de estudo.....	27
4.1	Recolha de informação.....	28
4.2	Descrição do edifício.....	29
4.2.1	Nota histórica .....	30
4.2.2	Soluções construtivas .....	32
4.2.3	Sistemas de climatização.....	35
4.2.4	Ventilação.....	38
4.2.5	Bombas hidráulicas de emergência .....	38
4.2.6	Iluminação .....	39
4.2.7	Equipamentos .....	41
4.2.8	Facturação de energia.....	42
4.3	Local e análise climática .....	43

4.4	Modelação com condições reais .....	46
4.4.1	Modelo geométrico.....	46
4.4.2	Zonamento térmico.....	49
4.4.3	Cargas internas .....	53
4.4.4	Perfis de utilização .....	54
4.4.5	Infiltração .....	55
4.4.6	Climatização .....	55
4.4.7	<i>Outputs</i> da simulação .....	57
4.4.8	Outros consumos .....	58
4.4.9	Calibração do modelo.....	58
4.4.10	Resultados da simulação.....	62
4.5	Simulação em condições nominais.....	66
4.5.1	Factores de correcção climática.....	66
4.5.2	Condições nominais .....	69
4.5.3	Resultados .....	71
4.5.3.1	Indicador de Eficiência Energética.....	73
4.5.3.2	Classe energética .....	74
4.6	Propostas de optimização energética e de incorporação de energias renováveis .....	76
4.6.1	Iluminação .....	76
4.6.2	Aproveitamento fotovoltaico.....	79
4.6.3	Aproveitamento geotérmico .....	81
4.7	Resultados previstos para a optimização energética.....	82
4.7.1	Resultados em condições reais .....	82
4.7.2	Resultados em condições nominais .....	86
5.	Limitações qualitativas do actual SCE .....	89
5.1	A relevância da análise do ciclo de vida integral de um edifício .....	89
5.2	Limitação dos consumos de energia renovável .....	93
5.3	Alteração do indicador de eficiência energética.....	93
5.4	Extensão do âmbito do SCE.....	98

5.5	Outras limitações .....	99
6.	Conclusões .....	100
	Referências .....	103
	Anexo A – Perfis horários de ocupação e utilização (de segunda a sexta).....	106
	Anexo B – Consumos facturados de electricidade nos últimos três anos.....	110
	Anexo C – Elementos de zonas .....	111



## Índice de Figuras

Figura 1.1 – Projecção dos consumos anuais de energia final em edifícios por região .....	2
Figura 1.2 – Distribuição por sector dos consumos de energia primária em Portugal .....	3
Figura 1.3 – Intensidade energética registada no sector dos edifícios de serviços em 1997 e em 2005 .	4
Figura 1.4 – Impacto acumulado de várias medidas de eficiência energética em edifícios de serviços .	5
Figura 2.1 – Várias fases do SCE.....	13
Figura 2.2 – Certificado energético português .....	14
Figura 2.3 – Verificação da imposição de sujeição de um grande edifício de serviços existente a PRE .....	16
Figura 3.1 – Custos de decisão e os seus impactos na prestação energética de um edifício ao longo das várias fases do seu ciclo de vida.....	23
Figura 3.2 – Aspecto do interface do EnergyPlus .....	24
Figura 3.3 – EnergyPlus: modo geral de funcionamento .....	25
Figura 4.1 – Vista aérea da Praça do Município de Lisboa.....	29
Figura 4.2 – Fachada frontal do edifício dos Paços do Concelho de Lisboa.....	31
Figura 4.3 – Exemplo de configuração de janela com difusor de vidro translúcido no topo .....	33
Figura 4.4 – Aspecto da fachada Sul e dos sombreamentos existentes nos interiores nos envidraçados .....	33
Figura 4.5 – UTAN instalada sob a cobertura.....	35
Figura 4.6 – Unidades condensadoras instaladas sob a cobertura .....	36
Figura 4.7 – Unidade evaporadora horizontal no tecto .....	37
Figura 4.8 – Exemplo de admissão de ar novo com tratamento térmico final por unidade evaporadora .....	38
Figura 4.9 – Bombas hidráulicas para expulsão de água em caso de inundação.....	39
Figura 4.10 – Pormenor da iluminação em candeeiro de lustre (Salão Nobre).....	40
Figura 4.11 – Distribuição das potências de iluminação pelos espaços do edifício .....	41
Figura 4.12 – Consumos eléctricos facturados ao edifício de 2003 a 2008 .....	42
Figura 4.13 – Consumos eléctricos médios mensais para os últimos três anos.....	43
Figura 4.14 – Clima local: temperatura média do bolbo seco horária ao longo das semanas do ano ...	44
Figura 4.15 – Clima local: valores horários médios mensais de radiação solar e temperatura .....	45
Figura 4.16 – Orientação geográfica do edifício .....	45
Figura 4.17 – Definição de soluções construtivas no DesignBuilder.....	47
Figura 4.18 – Representação geométrica exterior do modelo de simulação, vista de SW .....	48
Figura 4.19 – Resultado da renderização 3D do modelo, vista de SW .....	48
Figura 4.20 – Piso 1 (térreo): zonas térmicas .....	50
Figura 4.21 -- Piso intermédio: zonas térmicas .....	50
Figura 4.22 – Piso 2 (Nobre): zonas térmicas .....	51

Figura 4.23 – Piso 3: zonas térmicas .....	51
Figura 4.24 – Piso 4 (galerias técnicas): zonas térmicas .....	52
Figura 4.25 – Perspectiva interior da cúpula do edifício .....	53
Figura 4.26 – Perfil real de ocupação típica horária dos gabinetes para um dia da semana fora do período de férias .....	54
Figura 4.27 – Evolução ao longo do ano dos consumos previstos pela simulação e dos consumos eléctricos facturados .....	61
Figura 4.28 – Diferenças percentuais mensais entre os consumos previstos em simulação e os consumos facturados .....	62
Figura 4.29 – Gráfico dos consumos por utilização anuais obtidos por simulação em condições reais .....	63
Figura 4.30 – Perfil das cargas térmicas anuais .....	64
Figura 4.31 – Perfis diários das cargas térmicas para uma semana na meia estação .....	65
Figura 4.32 – Consumos reais de iluminação por espaço do edifício obtidos por simulação .....	65
Figura 4.33 – Classes energéticas para o edifício em estudo .....	75
Figura 4.34 – Densidades de potência e consumos eléctricos de iluminação das zonas térmicas.....	77
Figura 4.35 – Instalação fotovoltaica na cobertura .....	80
Figura 4.36 – Produção média mensal de electricidade do sistema fotovoltaico proposto .....	81
Figura 4.37 – Facturação EDP total do edifício para os vários cenários projectados (nos cenários PV a produção é descontada nos consumos).....	83
Figura 4.38 – Consumos eléctricos por utilização dos cenários projectados .....	83
Figura 4.39 – Evolução do Indicador de Eficiência Energética nominal em função dos vários cenários .....	88
Figura 5.1 – Evolução da energia acumulada ao longo do ciclo de vida de duas habitações, uma de elevada eficiência energética operacional e outra mediana.....	91
Figura 5.2 – Energia gasta por duas habitações numa base diária, uma de elevada eficiência energética operacional e outra mediana, considerando um ciclo de vida de 30 anos .....	92
Figura 5.3 – Valores $IEE_{real}$ para os edifícios da CML e Arquiparque em base de área útil e base ocupacional normalizada.....	96
Figura 5.4 – Valores de $IEE_{nominal}$ para os edifícios da CML e do Arquiparque, ambos simulados para a tipologia de <i>Serviços – Escritórios</i> .....	97

## Índice de Tabelas

Tabela 4.1 – Principais espaços em cada piso do edifício.....	30
Tabela 4.2 – Resistências convectivas superficiais utilizadas no cálculo das condutibilidades térmicas globais das soluções construtivas .....	34
Tabela 4.3 – Coeficientes de transmissão térmica dos elementos construtivos .....	34
Tabela 4.4 – Características do vidro dos vãos envidraçados da envolvente.....	35
Tabela 4.5 – Iluminação: potências instaladas e densidades de potência nos espaços do edifício.....	40
Tabela 4.6 – Consumos globais previstos pela simulação e consumos facturados .....	61
Tabela 4.7 – Consumos anuais por utilização obtidos na simulação em condições reais .....	63
Tabela 4.8 – Necessidades nominais máximas de aquecimento e arrefecimento previstas pelo RCCTE para o edifício.....	69
Tabela 4.9 – Factores de correcção climática considerados .....	69
Tabela 4.10 – Comparação entre valores de condições nominais e condições reais .....	70
Tabela 4.11 – Caudais de ar novo .....	71
Tabela 4.12 – Consumos eléctricos: resultados de simulação em condições nominais .....	72
Tabela 4.13 – Consumos nominais dos ventiladores e bombas de circulação em condições nominais de simulação.....	73
Tabela 4.14 – Indicadores de Eficiência Energética Nominais para o edifício.....	73
Tabela 4.15 – Determinação dos limites das classes energéticas .....	75
Tabela 4.16 – Intervenções propostas no campo da iluminação nos diferentes espaços.....	79
Tabela 4.17 – Discriminação dos consumos de electricidade da rede para os vários cenários .....	84
Tabela 4.18 – Poupanças anuais e períodos de retorno dos cenários propostos.....	86
Tabela 5.1 – Valores de energia incorporada nos materiais .....	90
Tabela 5.2 – Valores de $IEE_{real,ocupantes}$ e outros parâmetros relevantes dos edifícios dos Paços do Concelho de Lisboa e do Lote 5 do Arquiparque em Oeiras.....	95
Tabela 5.3 – Custos energéticos <i>per capita</i> para os edifícios da CML e do Arquiparque .....	98

## Lista de siglas

AQS	Águas quentes sanitárias
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
BC	Bomba de calor
BREEAM	BRE Environmental Assessment Method
CFD	Computational Fluid Dynamics
CML	Câmara Municipal de Lisboa
COP	Coefficient of performance
DGEG	Direcção-Geral de Energia e Geologia
DOE	United States Department of Energy
EDP	Energias de Portugal
IEA	International Energy Agency
IEE	Indicador de Eficiência Energética
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PRCE	Plano de racionalização do consumo de energia
PRE	Plano de racionalização energética
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
QAI	Qualidade do ar interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RGCE	Regulamento de Gestão do Consumo de Energia
RPH	Renovações por hora
RQSECE	Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar interior
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
UE	União Europeia
UTA	Unidade de tratamento de ar
UTAN	Unidade de tratamento de ar novo
VC	Ventiloconvector
VRV	Variable refrigerant volume

## 1. Introdução

*Uma melhoria na eficiência energética é vista como uma medida tomada pelo produtor ou consumidor de energia que reduz a sua utilização por unidade de energia útil final obtida, sem comprometer a utilização que se faz dessa energia. Estas melhorias podem ser implementadas nas várias fases da cadeia energética: produção, distribuição e consumo. Podem ainda ser conseguidas através de melhorias de hardware, como tecnológicas ou de infra-estrutura, e/ou de software, com a adopção de melhores práticas operacionais e de gestão (EuroACE, 2004).*

O ponto de partida é claro, e os objectivos a prosseguir também: de modo a existir uma probabilidade aceitável de o aquecimento global não ultrapassar os 2°C, e conter dessa forma os efeitos das alterações climáticas dentro de limites razoáveis, a concentração de CO<sub>2</sub>-equivalente na atmosfera deverá estabilizar no intervalo 400-450 ppm. Actualmente, encontra-se nos 430 ppm. Isto significa que o pico de emissões de gases com efeito de estufa não pode ultrapassar o ano de 2015 e que as emissões globais deverão baixar para, pelo menos, metade até 2050, com relação aos níveis de 1990 (IPCC, 2007).

O potencial que a eficiência energética representa a nível mundial no prosseguimento do combate às alterações climáticas até 2050 por via da redução na emissão de gases com efeito de estufa é comparável ao da transição de fontes de energia fóssil para fontes de energia renovável. Contudo, ao passo que o processo de desenvolvimento e amadurecimento de muitas das tecnologias promissoras de energias renováveis ainda está numa fase inicial, já existem actualmente tecnologia e meios que permitem, desde já, percorrer o caminho da eficiência energética. Em particular, proeminência para a eficiência energética no sector dos edifícios, que representa a nível mundial cerca de 40% do consumo total de energia primária (IEA, 2008).

Por via do crescimento da população no mundo (as projecções indicam que em 2050 será de mais 50% em relação ao ano 2000) e do aumento da quantidade de energia dispendida *per capita* decorrente da melhoria dos níveis de vida, o consumo energético global no sector dos edifícios, à semelhança do que tem vindo a acontecer, irá continuar a crescer grandemente, com preocupação particular para o crescimento que se registará em países de economias emergentes, em particular a China.

Actualmente, a nível mundial é nos EUA que a utilização de energia final em edifícios é, de sobremaneira, mais elevada, e a tendência é para continuar a subir, conforme mostra a Figura 1.1 (Energy Information Administration, 2006). Nota para o consumo na China, que vai crescer no período até 2030 para mais do dobro, aproximando-se do consumo estimado para a Europa da OCDE. No Brasil, a utilização de energia em edifícios crescerá, mas em 2030 permanecerá ainda baixa

relativamente às outras regiões. Quanto à Europa, prevê-se que o consumo no sector dos edifícios aumente moderadamente nesse período, mantendo-se uniforme no Japão.

A Agência Internacional de Energia estima ainda que as tendências actuais na procura de energia para edifícios vão ser responsáveis por cerca de metade dos investimentos previstos no sector produtivo de energia até 2030 (IEA, 2008).

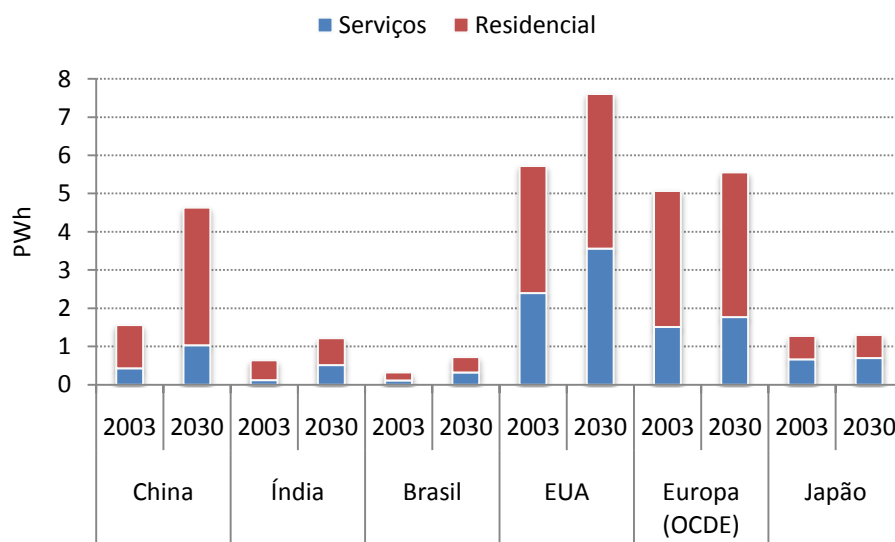


Figura 1.1 – Projecção dos consumos anuais de energia final em edifícios por região

Neste panorama, o papel da eficiência energética em edifícios no caminho para a sustentabilidade energético-ambiental é especialmente importante. De uma forma resumida, os seus benefícios são:

- Redução dos gastos monetários em energia por parte dos consumidores, em particular para aqueles cujas facturas energéticas nas despesas globais têm um peso desproporcionado (*fuel poverty*);
- Maior segurança no abastecimento energético;
- Menores custos de investimento na capacidade produtiva;
- Melhoria do conforto interior;
- Redução nas emissões de gases com efeito de estufa, sendo um factor decisivo nas estratégias de combate às alterações climáticas e ajudando a atingir as metas definidas pelo protocolo de Quioto;
- A sua prossecução contribui para a reabilitação de edifícios degradados, que de outra forma veriam essa reabilitação adiada. Isto é particularmente verdade na União Europeia (UE);
- Benefícios para as economias por via da criação de emprego nos sectores da construção civil e tecnológicos.

A aplicação de políticas de eficiência energética faz-se em três moldes:

1. Através da redução do consumo nos edifícios já existentes – medida especialmente importante, visto os edifícios durarem tipicamente décadas ou mesmo séculos, pelo que o parque já edificado terá obrigatoriamente de ser um dos alvos preferenciais dos investimentos em eficiência energética;
2. Através da promoção de novos edifícios energeticamente eficientes, com a criação de normas de qualidade térmica – note-se que a eficiência energética implementada na fase de projecto e de construção de um edifício é mais barata e de maior impacto do que implementada por via de remodelações (ver Secção 3.2);
3. Por via dos comportamentos dos utilizadores dos edifícios, promovendo as práticas de utilização racional da energia – note-se que o consumo total de energia nos edifícios é altamente dependente dos seus ocupantes.

Mediante a tomada destas medidas, na UE estima-se que a melhoria da intensidade energética (razão entre a energia gasta e a riqueza produzida no país) em 1% face à tendência observada resultaria numa poupança anual de 55 Mtep no sector dos edifícios, o que representa só por si 20% das metas do protocolo de Quioto (Comissão Europeia, 1998).

No capítulo português, em parte por via do seu clima ameno e por via de baixos índices de utilização de soluções de climatização no parque edificado, os edifícios são responsáveis por cerca de 29% do consumo nacional total de energia primária, distribuídos por 12% em edifícios do sector dos serviços e 17% em edifícios do sector residencial (DGEG, 2006), conforme está patente na Figura 1.2.

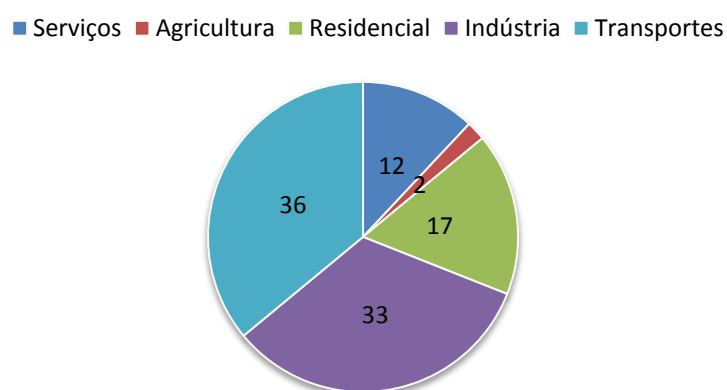


Figura 1.2 – Distribuição por sector dos consumos de energia primária em Portugal

Nos edifícios de serviços em Portugal assistiu-se no período de 1997 a 2005 a um incremento de 70% na intensidade energética, como patente na Figura 1.3. Trata-se de um crescimento excepcional, uma vez que em percentagem corresponde a cerca de dez vezes o incremento registado na intensidade energética global em Portugal no mesmo período (passou de 138 Tep/M€ em 1997 para 148 Tep/M€

em 2005). Por outro lado, conforme se atenta na mesma figura, a intensidade energética nos edifícios de serviços da Europa a 27 apresentou-se, em média, estável, tendo-se assistido a uma ultrapassagem desse nível por parte de Portugal (Eurostat, 2007).

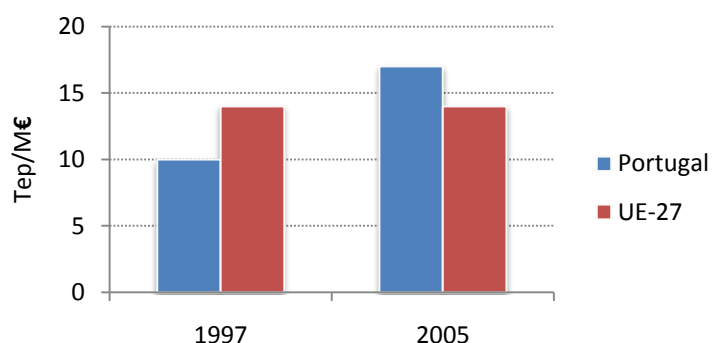


Figura 1.3 – Intensidade energética registada no sector dos edifícios de serviços em 1997 e em 2005

Assim, se a eficiência energética em edifícios a nível global assume um papel preponderante no caminho para a sustentabilidade energética, os edifícios de serviços em Portugal têm um papel de sobremodo relevante no prosseguimento dos objectivos e compromissos constantes do Plano Nacional para as Alterações Climáticas e do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética. Este último prevê uma redução de 10 por cento do consumo final de energia até 2015.

A Figura 1.4 (ADENE, 2006) mostra o impacto estimado das poupanças conseguidas com a introdução de medidas de eficiência energética em edifícios de serviços. O potencial acumulado dessas poupanças é de 46%.



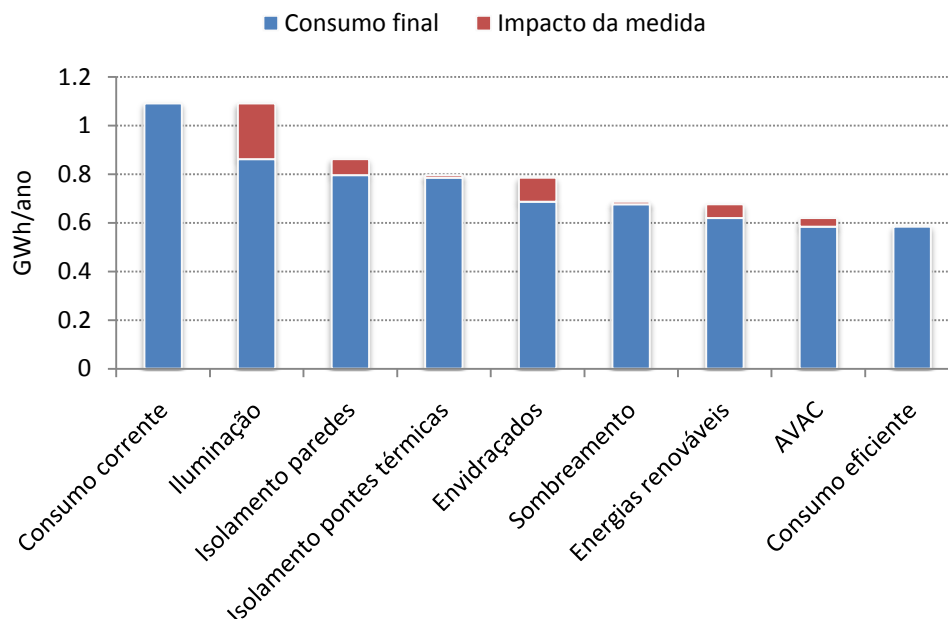


Figura 1.4 – Impacto acumulado de várias medidas de eficiência energética em edifícios de serviços

É neste contexto que surge o motivo para a realização desta tese: o da aplicação de um dos instrumentos promotores da eficiência energética nos edifícios em Portugal, o Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior. O objectivo conducente ao trabalho desenvolvido foi o da certificação energética de um edifício de serviços por via do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). A finalidade primordial deste regulamento é a de racionalizar os consumos energéticos, quer em grandes edifícios de serviços novos, quer nos existentes.

A primeira parte da tese, Secção 2, faz uma sinopse introdutiva da regulamentação energética nacional, com destaque para o já referido regulamento, na medida em que este constitui a base do trabalho realizado.

Seguidamente, na segunda parte, Secção 3, faz-se um resumo do tema da simulação dinâmica computacional para previsão de consumos energéticos em edifícios, uma vez que grande parte da componente prática do trabalho desenvolvido é elaborada com recurso a esta ferramenta.

Na terceira parte, Secção 4, é apresentado o caso de estudo e descrita toda a metodologia utilizada no processo conducente à certificação energética de um grande edifício de serviços existente, mais concretamente o edifício dos Paços do Concelho de Lisboa. Foram efectuados levantamentos de várias espécies e consultada documentação com o intuito de caracterizar o mais exaustivamente possível todos os aspectos respeitantes ao edifício. Nomeadamente, foi feito um apuramento pormenorizado nos campos da arquitectura, climatização, ventilação, iluminação, equipamentos, ocupação e hábitos

de utilização do edifício. Estes dados foram todos organizados e processados de forma a construir os *inputs* de simulação energética.

Nesta componente de simulação, recorreu-se ao software DesignBuilder para modelação geométrica do edifício e definição de algumas soluções construtivas. A simulação propriamente foi efectuada no EnergyPlus, ferramenta que cumpre a norma ASHRAE 140-2004, preconizada no regulamento para cálculo das necessidades energéticas. Foram efectuados dois grandes conjuntos de simulações: do edifício em condições reais de funcionamento e em condições nominais, conforme definidas no RSECE. Para além das simulações base, cada uma das simulações efectuadas correspondeu a um cenário energético, constituído pelo cenário base acrescido de uma das medidas de optimização energética pensadas ou por um conjunto delas. Estas medidas foram sempre estudadas numa perspectiva de custo/benefício.

Na quarta parte, Secção 5, faz-se uma análise qualitativa ao SCE na óptica daquelas que são as suas limitações actuais e possibilidades de aperfeiçoamento futuro.

A última parte é constituída por uma súmula das conclusões retiradas ao longo das secções anteriores.

## **2. Regulamentação energética no sector dos edifícios em Portugal**

Na prossecução nacional de objectivos europeus, o governo português regulamentou em 2006 o sector dos edifícios nas suas vertentes de racionalização do consumo de energia e na melhoria da eficiência energética, obrigando ao cumprimento de exigências mínimas na execução do projecto das instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) e qualidade da envolvente térmica.

Nesta secção é feita-se uma síntese da regulamentação térmica de edifícios em Portugal desde o começo da sua aplicação na década de 1980. É apresentada seguidamente a directiva europeia 2002/91, que foi a precursora do actual Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE) português, o qual é depois descrito. É dado especial relevo à regulamentação aplicável aos grandes edifícios de serviços, uma vez que foi essa a aplicada na componente prática do presente trabalho.

### **2.1 Regulamentação prévia**

O primeiro regulamento com objectivos de redução do consumo energético e promoção de medidas de eficiência energética data de 1982. Trata-se do Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE), definido pelo Decreto-Lei nº 58/82 e pela Portaria 359/82, com abrangência para as empresas ou instalações consumidoras intensivas de energia onde se verificassem pelo menos uma das condições:

- O consumo total de energia primária registasse um valor superior a 1000 tep/ano, durante o último ano de actividade;
- A soma dos consumos de energia nominais dos equipamentos instalados excedesse 0,5 tep/hora;
- O consumo energético nominal de pelo menos um dos equipamentos instalados excedesse 0,3 tep/hora.

A verificação de uma ou mais destas condições obrigava a empresa a realizar uma auditoria energética de cinco em cinco anos, com vista à implementação de um Plano de Racionalização dos Consumos de Energia (PRCE), a três ou cinco anos, consoante o sector de actividade, sujeito à aprovação da Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), com a execução de um Relatório de Progresso Anual para controlo da execução das medidas previstas no respectivo plano.

O objectivo principal do PRCE era a redução efectiva do consumo energético da instalação, a qual era função do consumo específico existente antes do plano de racionalização e de um valor de referência para a instalação ou artigos fabricados. Na falta de publicação de valores de referência, a redução deveria ser, no mínimo, de 10%. A abrangência deste regulamento visava essencialmente o sector da indústria, embora os grandes edifícios de serviços, com consumo energético anual superior ao estipulado, também ficassem sujeitos ao PRCE.

Embora desde o início da década de 1980 existissem regras da qualidade térmica nos edifícios, publicadas pelo Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes, só na década de 1990 é que realmente houve a publicação de um regulamento, com implicações em todo o sector da construção de edifícios. Trata-se do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei nº 40/90, cujo objectivo primordial consistia na salvaguarda das condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia durante as estações de aquecimento e arrefecimento. O cumprimento do RCCTE obrigou à tomada de algumas medidas que não eram usais no projecto de construção de edifícios, nomeadamente a utilização de isolamento térmico na envolvente exterior passou a ser norma.

Em sintonia com o RCCTE, em 1992 é criado o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE). Porém, a aplicação deste regulamento não foi efectiva devido à sua suspensão imposta pela Comunidade Europeia, por motivos de direito comunitário.

Em sua substituição foi elaborado posteriormente o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, na redacção do Decreto-Lei nº 118/98.

Este regulamento impunha regras no dimensionamento e instalação de sistemas de climatização, contudo a sua aplicação revelou-se aquém das expectativas. Alguns dos motivos foram:

- Rendimentos mínimos exigidos aos equipamentos demasiadamente baixos;
- Falta de imposição nas qualificações dos projectistas;
- Não exigência na apresentação dos cálculos das cargas térmicas e do dimensionamento das centrais térmicas;
- Alguma indiferença por parte da maioria dos intervenientes no processo.

Entretanto, desde final dos anos de 1990 tem vindo a acentuar-se significativamente a tendência de crescimento da procura de sistemas de climatização em Portugal, desde os mais simples e de pequena dimensão, no sector residencial e dos pequenos serviços, aos sistemas complexos de grandes dimensões, sobretudo em edifícios do sector terciário. Isto surge como consequência da melhoria do nível de vida a que se assistiu em vários segmentos da sociedade e da redefinição dos seus critérios de conforto, e também como consequência da taxa de crescimento do parque edificado. Disto resultou para o sector dos edifícios a mais elevada taxa de crescimento dos consumos de energia de entre todos

os sectores da economia nacional, nomeadamente para o subsector dos serviços, traduzida em valores médios da ordem dos 12% ao ano (Ministério da Economia e da Inovação, 2006).

## **2.2 A directiva europeia 2002/91**

A promoção da eficiência energética na União Europeia ganhou proeminência desde a adopção pelos seus estados membros da Directiva 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético em edifícios. Esta directiva visa a adopção de medidas que permitam, mantendo o mesmo conforto (ou aumentando-o), reduzir os consumos energéticos em edifícios.

Os quatro pontos-chave da directiva consistem na adopção/criação de (UE, 2002):

- Uma metodologia comum para o cálculo do desempenho energético global dos edifícios;
- Normas mínimas sobre o desempenho energético dos edifícios novos e edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;
- Sistemas de certificação energética dos edifícios novos e existentes e, para os edifícios públicos, exibição clara dessa certificação e outras informações relevantes. Os certificados deverão apresentar sempre um período de validade;
- Inspeções periódicas de caldeiras e sistemas centrais de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, avaliação das instalações de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de quinze anos.

A directiva faz parte das iniciativas comunitárias em matéria de segurança energética (Livro Verde sobre a segurança do aprovisionamento energético) e de alterações climáticas (compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto). Os fundamentos destas políticas são:

- Em primeiro lugar, a UE está cada vez mais dependente de fontes externas de energia;
- Em segundo lugar, a emissão de gases com efeito de estufa está a aumentar.

A UE pode ter influência nos dois capítulos, em particular pode influenciar a procura de energia. E a redução dos consumos através da melhoria da eficiência energética é um passo importante na resolução de ambos os problemas.

No que concerne aos edifícios de serviços europeus, os seus gastos energéticos representam aproximadamente um terço do consumo de energia eléctrica total da UE (Eurostat, 2007). A Comissão considera que, com as iniciativas tomadas neste domínio, importantes poupanças de energia podem ser alcançadas, contribuindo assim para atingir os objectivos em matéria de alterações climáticas e

segurança do abastecimento energético. As medidas tomadas a nível nacional devem ter em conta estes desafios, que são igualmente ao nível comunitário.

Esta directiva vem no seguimento das directivas aplicáveis a caldeiras (92/42/CEE) e a materiais de construção (89/106/CEE) e do programa SAVE no que concerne a edifícios.

Embora em 2002 já existisse uma directiva relativa à certificação energética de edifícios (Directiva 93/76/CEE, revogada pela Directiva 2006/23/32/EC), foi adoptada num contexto político diferente, nomeadamente antes do acordo de Quioto e do agravar de incertezas relativas à segurança do aprovisionamento energético na UE. Essa directiva não tinha os mesmos objectivos da directiva 2002/91/CE. Esta última é um instrumento adicional, propondo medidas concretas para preencher as lacunas existentes.

### 2.2.1 Âmbito

A metodologia comum deverá incluir todos os aspectos que determinam a eficiência energética em edifícios, e não apenas a qualidade do isolamento. Assim, esta abordagem integrada deve ter em conta outros aspectos como as instalações de climatização, a iluminação, a posição e orientação solar do edifício, a recuperação de calor, etc. Os padrões mínimos para os edifícios são calculados com base nesta metodologia e os estados membros são responsáveis pela sua definição.

A directiva diz respeito ao sector residencial e ao sector terciário (escritórios, edifícios públicos, etc.). O âmbito de aplicação das disposições em matéria de certificação, no entanto, não inclui alguns edifícios, tais como edifícios históricos e industriais. A directiva não prevê medidas aplicáveis aos denominados *equipamentos móveis*, como electrodomésticos. As medidas relativas à rotulagem obrigatória e a requisitos mínimos de eficiência já foram implementadas ou estão previstas no Plano de Acção para a Eficiência Energética.

### 2.2.2 Certificados, normas mínimas e inspecções

Os certificados de desempenho energético deverão ser disponibilizados quando os edifícios são construídos, vendidos ou arrendados. A directiva refere especificamente *edifícios arrendados* com o objectivo de garantir que o proprietário, que normalmente não paga as facturas de energia (electricidade e gás), tome, mesmo assim, medidas no sentido de melhorar a eficiência energética do imóvel e assim conseguir facilidades ou mais-valias no arrendamento. Além disso, a directiva estabelece que os ocupantes dos edifícios devem ter a possibilidade de regular o seu dispêndio de

energia (calor, frio, produção de água quente, etc.), sempre que tal se revele rentável. Os estados membros são ainda responsáveis pela elaboração das normas mínimas, assegurando que a certificação e inspecção dos edifícios são realizadas por pessoal qualificado e independente.

A Comissão, com a assistência de um comité, é responsável pela adaptação de um Anexo aos desenvolvimentos técnicos que possibilitem melhorias no desempenho dos edifícios. Este Anexo contém as bases gerais para o cálculo do desempenho energético dos edifícios e os requisitos para a inspecção das caldeiras e sistemas centralizados de climatização.

### **2.3 O sistema português de certificação energética**

Em relação com o Programa Nacional para as Alterações Climáticas e em articulação com os compromissos da União Europeia no âmbito do Protocolo de Quioto decorrentes da directiva 2002/91/CE, Portugal também assumiu responsabilidades quanto ao controlo das emissões de gases de efeito de estufa. Nesse quadro, há um consenso sobre a importância de melhorar a eficiência energética dos edifícios e de reduzir o seu consumo de energia e as correspondentes emissões de CO<sub>2</sub> como parte de um esforço a envolver todos os sectores consumidores de energia.

Com a revisão e respectiva publicação dos novos regulamentos, RCCTE, RSECE e com a criação do SCE, em 2006, no âmbito do contexto referido na Secção 2.2, será efectuado em seguida um resumo de cada um dos regulamentos mencionados, explicando os seus objectivos, funcionamento e implicações gerais no sector dos edifícios.

#### **2.3.1 Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior**

O SCE é instituído pelo Decreto-Lei n° 78/2006 e tem como finalidade, de acordo com o artigo 2°:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior (QAI), de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado,

quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

De acordo com a Portaria nº 461/2007, a aplicação do SCE foi calendarizada em três fases, que decorreram entre Julho de 2007 e Janeiro de 2009. Neste momento, o SCE encontra-se plenamente em vigor e estão abrangidos os seguintes edifícios:

- Novos edifícios, bem como os existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação (definidas com apresentando um custo da intervenção superior a 25% do custo do edifício sem terreno), nos termos do RSECE e do RCCTE;
- Edifícios de serviços existentes quando sujeitos periodicamente a auditorias, conforme especificado no RSECE (edifícios com área superior a 1000 m<sup>2</sup>, com auditorias energéticas em cada seis anos e da qualidade do ar a cada dois, três ou seis anos);
- Edifícios existentes, de habitação e de serviços, aquando da celebração de contratos de venda e de locação, casos em que o proprietário deve apresentar ao potencial comprador ou arrendatário o certificado emitido no âmbito do SCE.

Desta forma, todos os edifícios existentes que não sejam de serviços ou de habitação estão excluídos da aplicação do SCE, como são os casos previstos no RSECE e no RCCTE, a saber:

- Igrejas e locais de culto;
- Edifícios industriais e agrícolas destinados a actividades de produção;
- Garagens, armazéns ou equivalentes, desde que não climatizados;
- Edifícios em zonas históricas ou edifícios classificados sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências do regulamento.

Na Figura 2.1 apresentam-se os passos do SCE que se aplicam ao longo das várias fases de um edifício, desde o projecto até à utilização final (ADENE, 2009).



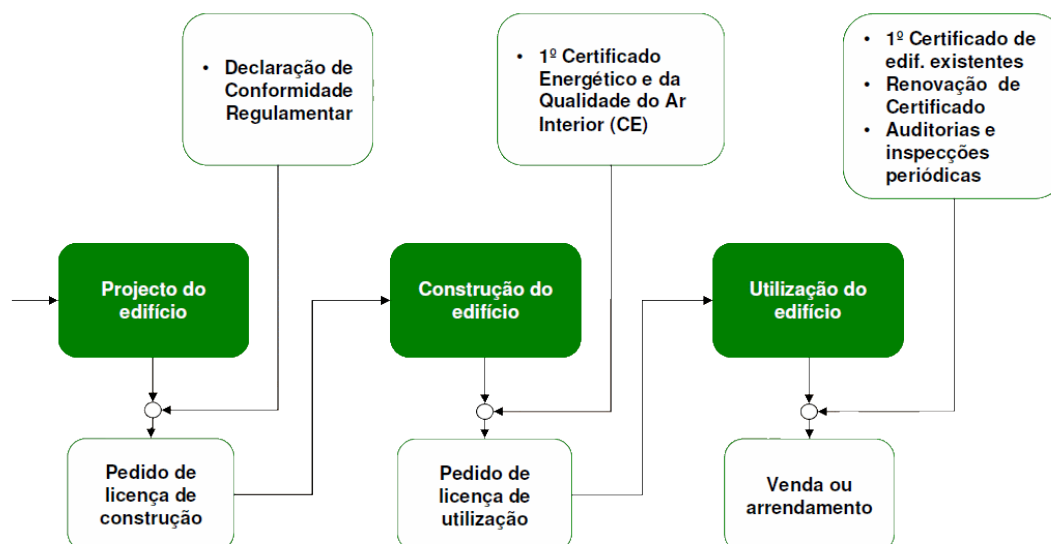


Figura 2.1 – Várias fases do SCE

A supervisão do SCE cabe à DGEG na parte de energia e ao Instituto do Ambiente na parte da qualidade do ar interior, cabendo a gestão regular do sistema à Agência para a Energia (ADENE). A esta em particular é atribuída a responsabilidade na criação de uma bolsa de peritos qualificados, que conduzem o processo de certificação energética dos edifícios articulando directamente com a ADENE. O prazo de validade dos certificados para os edifícios que não estejam sujeitos a auditorias ou inspecções periódicas, no âmbito do RSECE, é de dez anos. Nos restantes casos, a validade do certificado será de seis, três ou dois anos, conforme a tipologia do edifício.

A implementação do SCE deverá garantir o cumprimento da directiva comunitária 2002/91/CE; contudo, na sua transposição para a legislação portuguesa, optou-se pela adopção de objectivos mais ambiciosos em alguns domínios. Por exemplo, a directiva comunitária não prevê exigências nos seguintes domínios, mas o SCE sim:

- Na limitação da potência no projecto das instalações de climatização nos edifícios novos e nas grandes reabilitações;
- Nos requisitos de qualidade térmica e ambiental de referência para os edifícios de habitação novos com uma área útil total inferior a 50 m<sup>2</sup>;
- Nos edifícios residenciais com ocupação inferior a quatro meses por ano;
- Na utilização de sistemas de climatização individuais e de sistemas de AQS alimentados por energia eléctrica, como sejam as bombas de calor, termoacumuladores e *splits* de ar condicionado.

Em Portugal, a classificação no âmbito do SCE do desempenho energético de um edifício de serviços ou residencial baseia-se no valor de parâmetros de consumo energético nominal. É definida uma escala com nove classes em função do valor tomado pelo consumo energético nominal. A classe A+ é atribuída aos edifícios mais eficientes, correspondendo a menores valores do parâmetro energético. A classe G, sem limite máximo, corresponde a edifícios com fraco desempenho energético. Uma vez que cabe a cada estado membro a definição do tipo de classificação, não existe harmonia neste aspecto entre os países europeus. A directiva 2002/91/CE prevê ainda que o certificado se possa limitar ao fornecimento de informação relativamente ao consumo energético do edifício, podendo não estar directamente relacionado com o cumprimento de regulamentos nacionais. A Figura 2.2 mostra o aspecto do certificado adoptado em Portugal.

**Certificação Energética e Ar Interior EDIFÍCIOS**

Nº CER 12345678901

**CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR**

TIPO DE EDIFÍCIO: EDIFÍCIO DE SERVIÇOS / FRACÇÃO AUTÓNOMA DE EDIF. SERVIÇOS

Morada / Situação: \_\_\_\_\_

Localidade: \_\_\_\_\_ Freguesia: \_\_\_\_\_

Concelho: \_\_\_\_\_ Região: \_\_\_\_\_

Data de emissão do certificado: \_\_\_\_\_ Validade do certificado: \_\_\_\_\_

Nome do prédio qualif.: \_\_\_\_\_ Número do prédio qualif.: \_\_\_\_\_

Imóvel descrito no: ☐ Conservatória do Registo Predial de \_\_\_\_\_ Fracção autónoma: \_\_\_\_\_

sub-área nº \_\_\_\_\_ Área construída m² \_\_\_\_\_

Este certificado tem de ser apresentado em conjunto com o Relatório de Avaliação do Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior, em conformidade com o Regulamento do Regulamento das Edificações da Comissão Europeia (Diretiva 2002/91/CE, Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril), classificado a nível de imóvel no respetivo inventário energético. Este certificado permite identificar possíveis melhorias da eficiência energética aplicáveis à fruição do imóvel em questão, assim como a respetiva estimativa energética e de qualidade do ar interior.

**1. ETIQUETA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO**

INDICADORES DE DESEMPENHO

Valor do indicador de Eficiência Energética nominal (IEE<sub>nom</sub>) calculado por eliminação energética:  kWh/m²/ano

Valor do indicador de Eficiência Energética (IEE<sub>eff</sub>) para edifícios novos, ao qual corresponde o limite inferior da classe B:  kWh/m²/ano

Valor do indicador de Eficiência Energética correspondente ao limite inferior da classe A\*:  kWh/m²/ano

Emissões anuais de gases de efeito de estufa associadas ao IEE nominal:  toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por ano

**CLASSE ENERGÉTICA**

A+ A B C D E F G

**2. QUALIDADE DO AR INTERIOR (QAI)**

O presente imóvel cumpre com os requisitos aplicáveis estabelecidos no D.L. 79/2006 de 4 de Abril relativamente à qualidade do ar interior. Conforme aplicáveis, essas regras visam, através da verificação das condições de projecto ou da realização de auditorias periódicas, assegurar que o edifício ou fracção autónoma dispõe de condições adequadas para que as concentrações de poluentes no ar interior sejam inferiores às concentrações máximas de referência, salvaguardando assim a saúde dos seus ocupantes.

O presente imóvel foi sujeito a uma auditoria à qualidade do ar interior onde foram detectados valores de concentração de um ou mais poluentes acima do respetivo valor máximo de referência definido no Anexo VI do D.L. 79/2006 de 4 de Abril, pelo que, conforme previsto no referido Decreto-Lei, o edifício ou fracção autónoma está sujeito a um Plano de Ações Correctivas de QAI a implementar pelo proprietário.

Elaborado por: \_\_\_\_\_

Director Geral de Energia e Geologia

Figura 2.2 – Certificado energético português

### 2.3.2 Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

O Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 Abril implementa um novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, revogando o anterior Decreto-Lei nº 118/98, comentado na Secção 2.1.

De acordo com o previsto no nº 1 do Artigo 2º do RSECE, este regulamento aplica-se a:

- Grandes edifícios ou fracções autónomas de serviços, existentes e novos, com área útil superior a 1000 m<sup>2</sup>, ou, no caso de edifícios do tipo centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas aquecidas cobertas, com área superior a 500 m<sup>2</sup>;
- Novos pequenos edifícios ou fracções autónomas de serviços com sistemas de climatização com potência instalada superior a 25 kW;
- Novos edifícios de habitação ou cada uma das suas fracções autónomas com sistemas de climatização com potência instalada superior a 25 kW;
- Novos sistemas de climatização a instalar em edifícios ou fracções autónomas existentes, de serviços ou de habitação, com potência instalada igual ou superior a 25 kW em qualquer tipologia de edifícios;
- Grandes intervenções de reabilitação relacionadas com a envolvente, as instalações mecânicas de climatização ou os demais sistemas energéticos dos edifícios de serviços;
- Ampliações dos edifícios existentes em que a intervenção não atinja o limiar definido para ser considerada uma grande intervenção de reabilitação.

O actual RSECE caracteriza-se por uma filosofia mais abrangente em comparação com o anterior, pois impõe um conjunto de exigências em quatro vertentes:

- Na definição das condições a observar de conforto térmico e higiene, em consonância com as funções dos diferentes espaços dos edifícios;
- No estabelecimento de padrões de melhoria da eficiência energética global dos edifícios, e portanto não só nos consumos para climatização como igualmente noutros consumos que têm lugar, estabelecendo o seu condicionamento, mesmo que por via indirecta;
- Na imposição de regras de eficiência aplicadas aos sistemas de climatização, que permitam melhorar o seu desempenho energético efectivo e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, aos níveis do projecto, instalação e funcionamento (neste caso através de uma manutenção adequada);
- Na monitorização com regularidade das práticas de manutenção dos sistemas de climatização, como condição da eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios.

O desempenho energético de um edifício no actual RSECE é resumido por um indicador específico de consumo de energia primária, o Indicador de Eficiência Energética (IEE), o qual vem em unidades de kgep/m<sup>2</sup>.ano. É calculado com base nas condições nominais de utilização, definidas consoante a tipologia do edifício.

O RSECE determina a necessidade de efectuar a previsão dos consumos energéticos, sob condições nominais de utilização, recorrendo à simulação dinâmica multizona, utilizando um software de simulação que cumpra a norma ASHRAE 140-2004. O tema da simulação energética é desenvolvido na Secção 3.

Para aplicação do RSECE, será ainda necessário recorrer ao RCCTE, pois é neste regulamento que são definidas algumas das condições que importa igualmente cumprir no RSECE, como as de conforto térmico de referência, requisitos mínimos a adoptar para as envolventes exterior e interior e factores solares máximos dos envidraçados. São igualmente definidos no RCCTE alguns parâmetros, como os factores de correcção climática, indispensáveis na aplicação do RSECE.

No caso de edifícios existentes, e no caso do valor apurado para o IEE nominal ( $IEE_{nom}$ ) ser superior ao limite de referência ( $IEE_{ref,exist}$ ) referido no Anexo X do RSECE, o proprietário é obrigado a apresentar um Plano de Racionalização de Energia (PRE) à DGEG, cujo objectivo é a redução do consumo específico até ao limite regulamentar, sendo de execução obrigatória todas as medidas com viabilidade económica. Esta viabilidade económica afere-se através do cálculo do período de retorno simples (PRS), que deverá ser inferior a oito anos. A Figura 2.3 (ADENE, 2008) apresenta o método que permite determinar a necessidade de um PRE num grande edifício de serviços existente. O indicador  $IEE_{real, facturas}$  é calculado por análise simples das facturas energéticas dos últimos três anos, sem efectuar correcção climática (ver Secção 4.5.1) e utilizando o factor de conversão  $F_{pu}$  (ver Secção 4.4.10). O indicador  $IEE_{real, simulação}$  corresponde ao IEE real obtido por simulação dinâmica utilizando os perfis reais determinados pela auditoria, com correcção climática.

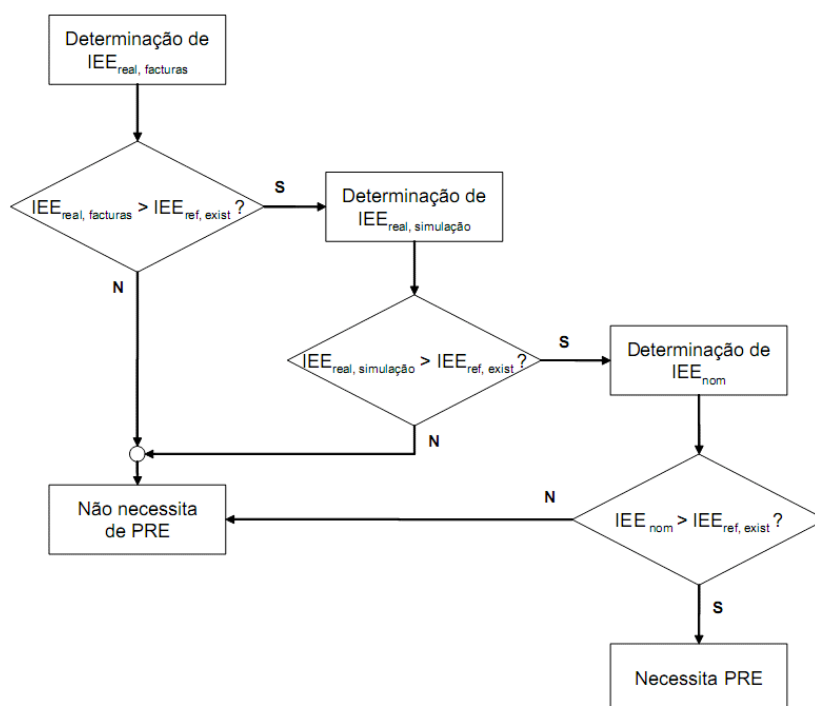


Figura 2.3 – Verificação da imposição de sujeição de um grande edifício de serviços existente a PRE

A classificação energética dos edifícios abrangidos pelo RSECE é feita a partir dos valores do IEE nominal em comparação com o limite regulamentar ( $IEE_{ref}$ ) e de um parâmetro  $S$ , tabelado e função da tipologia, que permite determinar os limites das classes energéticas.

Em relação aos requisitos de eficiência energética no projecto de novos sistemas de climatização, destacam-se algumas das imposições do RSECE, excepto quando for demonstrada falta de viabilidade económica ou existam impedimentos técnicos ou de outra natureza devidamente justificados:

- Recurso a sistemas de climatização que utilizem fontes renováveis, segundo lista da DGEG, em conformidade com a dimensão dos sistemas e da localização do edifício, bem como ligação obrigatória a redes urbanas de distribuição de calor e frio que possam existir nas imediações;
- Instalação de sistemas de co-geração em edifícios de serviços com áreas superiores a 10000 m<sup>2</sup>, para as tipologias definidas no n.º 7 do artigo 27.º do RSECE;
- A potência eléctrica para aquecimento por efeito de Joule não pode exceder 5% da potência térmica de aquecimento até ao limite de 25 kW por fracção autónoma de edifício;
- Nos sistemas destinados exclusivamente a arrefecimento é permitida a instalação de equipamento destinado a reaquecimento terminal desde que a potência não exceda 10% da potência de arrefecimento a instalar;
- Na estação de aquecimento, recurso à recuperação de energia no ar de rejeição com uma eficiência mínima de 50%, ou recuperação de calor equivalente, sempre que a potência térmica de rejeição em condições de projecto seja superior a 80 kW;
- Nos sistemas de climatização do tipo *tudo ar*, com um caudal de ar de insuflação superior a 10000 m<sup>3</sup>/h, a instalação de dispositivos que permitam o arrefecimento dos locais apenas com ar exterior quando a temperatura ou a entalpia do ar exterior forem inferiores à do ar de retorno;
- Existência de registo dos consumos próprios de energia dos sistemas de climatização abrangidos pelo regulamento, bem como de registo dos consumos de cada uma das fracções autónomas ou edifícios aquando de sistemas centralizados;
- A eficiência nominal dos equipamentos de aquecimento e de arrefecimento dos sistemas não deve ser inferior aos valores indicados nas directivas europeias aplicáveis transpostas para a legislação nacional;
- O recurso à repartição da potência de aquecimento em contínuo ou por escalões;
- Os elementos propulsores dos fluidos de transporte são seleccionados de modo que o seu rendimento seja máximo nas condições de funcionamento nominal, e as respectivas potências devem ser adequadas às perdas de carga que têm de vencer;

- Todas as redes de transporte de fluidos e respectivos acessórios e componentes devem ser termicamente isolados, e ter barreira contra vapor no caso das tubagens de água arrefecida, devendo as espessuras de isolamento obedecer a valores mínimos definidos no regulamento;
- A especificação no projecto de todos os acessórios que permitam uma fácil monitorização.

No que concerne à qualidade do ar interior, o actual RSECE estabelece que nos edifícios novos abrangidos pelo regulamento sejam cumpridos caudais mínimos de renovação do ar interior, os quais são função do número de ocupantes ou da área do espaço e da tipologia. O recurso a meios naturais, mecânicos ou híbridos para garantia destes caudais de referência é obrigatório, devendo o projecto prever que a velocidade do ar interior não excede os 0,2 m/s, de forma a assegurar condições de conforto aos ocupantes. É ainda exigido o cumprimento de concentrações máximas de determinados poluentes no espaço interior do edifício, bem como de microorganismos e de radão em zonas graníticas.

Para espaços com características particulares, são previstas exigências adicionais, das quais se destacam:

- Em espaços onde não seja permitido fumar em que sejam utilizados materiais de construção, acabamento ou revestimento não ecologicamente limpos, os sistemas de renovação do ar em novas instalações de climatização devem ser concebidos para poderem fornecer, se necessário, caudais aumentados em 50% em relação aos de referência;
- Em espaços onde seja permitido fumar servidos por novas instalações de climatização sujeitas aos requisitos do RSECE, os valores de referência passam a, pelo menos, 60 m<sup>3</sup>/h.ocupante, devendo esses espaços ser colocados em depressão relativamente aos espaços contíguos onde não seja permitido fumar;

É regulamentado igualmente um conjunto de obrigações na condução e manutenção das instalações de climatização, de forma que se verifique o cumprimento da eficiência energética, consumo energético e QAI. As instalações e equipamentos devem possuir um plano de manutenção preventiva que estabeleça claramente as tarefas de manutenção previstas, tendo em consideração a boa prática da profissão, as instruções dos fabricantes e a regulamentação existente para cada tipo de equipamento constituinte da instalação, o qual deve ser elaborado e mantido permanentemente actualizado.

### 2.3.3 Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

O presente RCCTE transpõe para a legislação nacional parte da directiva 2002/91/CE e foi aprovado pelo Decreto-Lei nº 80/2006, revogando na íntegra o anterior regulamento de 1990, mas mantendo a mesma denominação. A sua aplicação, à excepção do previsto no ponto 9 do artigo 2º, faz-se em:

- Edifícios de habitação;
- Edifícios de serviços com área útil inferior ou igual a 1000 m<sup>2</sup> e sem sistemas mecânicos de climatização ou com sistemas de climatização de potência inferior ou igual a 25 kW;
- Grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias das duas tipologias de edifícios referidas nos dois pontos anteriores;
- Ampliações de edifícios existentes, das mesmas duas tipologias, exclusivamente na nova área construída.

A conformidade regulamentar no que toca aos requisitos energéticos verifica-se quando os valores das seguintes grandezas são inferiores aos valores máximos admissíveis correspondentes, definidos no regulamento e actualizáveis por portaria:

- Necessidades nominais de energia útil de aquecimento (N<sub>ic</sub>), de energia de arrefecimento (N<sub>vc</sub>), de energia para preparação de AQS (N<sub>ac</sub>) e de energia primária global (N<sub>tc</sub>);
- Transmissão térmica superficial da envolvente opaca que separa a fracção autónoma do exterior de espaços que não requeiram condições de conforto ou de edifícios vizinhos;
- Factores solares dos ramos envidraçados horizontais e verticais com área total superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que servem, desde que não orientados entre noroeste e nordeste.

Por outro lado, o coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas superficiais não pode ser superior ao dobro do valor dos elementos da envolvente opaca adjacente. Igualmente a taxa de referência para renovação de ar, de forma garantir a QAI, é no mínimo de 0,6 renovações por hora.

O regulamento obriga ainda ao recurso a sistemas solares térmicos para produção de AQS sempre que exista exposição solar adequada, na base de 1 m<sup>2</sup> de colectador por ocupante previsto, não existindo obrigação para além do preenchimento de 50% da área total de cobertura disponível. A exposição solar adequada existe quando a instalação é em cobertura em terraço ou inclinada orientada para o quadrante Sul, não sendo sombreada por obstáculos entre o período que compreende duas horas depois do nascer do sol e duas horas antes do ocaso. É ainda considerada no regulamento a alternativa de instalar outras formas de energia renovável, como a solar fotovoltaica, eólica ou geotérmica, em

alternativa ao solar térmico, desde que a energia produzida seja equivalente à poupança energética verificada com os colectores solares (ADENE, 2009).

## **2.4 Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia**

Dentro da regulamentação portuguesa na área da energia em edifícios, nota ainda para o Decreto-Lei nº 71/2008, que regulamenta o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), o qual se trata de uma revisão do RGCE de 1982 (conforme previsto no Plano Nacional de Acção em Eficiência Energética) à luz das orientações e medidas preconizadas no Programa Nacional para as Alterações Climáticas. Este Sistema aplica-se às instalações consumidoras intensivas de energia com consumos superiores a 500 tep/ano.

Este diploma mantém os objectivos do anterior RGCE, discutidos na Secção 2.1, mas o seu âmbito de aplicação é alargado a um maior número de empresas e instalações, com vista ao aumento da sua eficiência energética, definindo quais as instalações consideradas Consumidoras Intensivas de Energia (CIE).

O SGCIE prevê que as instalações CIE realizem, periodicamente, auditorias energéticas que incidam sobre as condições de utilização da energia e promovam o aumento da eficiência energética, incluindo a utilização de fontes de energia renováveis. Prevê, ainda, que se elaborem e executem Planos de Racionalização dos Consumos de Energia, estabelecendo acordos de racionalização desses consumos com a DGEG que contemplem objectivos mínimos de eficiência energética, associando ao seu cumprimento a obtenção de incentivos pelos operadores que exploram as instalações.



### **3. Simulação dinâmica computacional**

Dados os actuais constrangimentos de origem ambiental na utilização da energia e dadas as condições económicas a nível mundial, os aspectos relacionados com os consumos energéticos são primordiais no projecto de edifícios novos e utilização e reabilitação dos edifícios existentes. As decisões tomadas nessas fases, e em especial na de projecto, são decisivas na prestação térmica do edifício e podem significar importantes poupanças de energia. É pois importante a utilização de uma ferramenta que permita prever o impacto das várias estratégias energéticas possíveis. Essa ferramenta é a simulação computacional, permitindo igualmente a verificação regulamentar dos edifícios ou dos seus projectos.

Esta secção é constituída primeiramente por uma visão geral da simulação computacional em edifícios. Após esta introdução do tema, faz-se uma descrição da ferramenta EnergyPlus, utilizada na componente prática desta tese.

#### **3.1 Desenvolvimento da simulação computacional**

Antes do advento da simulação computacional em edifícios, os arquitectos e engenheiros baseavam-se principalmente em cálculos feitos manualmente para a previsão das cargas térmicas, utilizando condições de projecto pré-definidas e estudadas. Para condições de projecto não habituais, os resultados eram extrapolados. Este tipo de metodologia conduzia frequentemente a instalações de climatização sobredimensionadas, com fraca prestação energética por funcionarem muito abaixo do seu regime nominal. Na década de 1970, com os choques petrolíferos, especial ênfase começou a ser dado à questão da eficiência energética em edifícios, tornando-se claro que a única forma de a conseguir, especialmente em edifícios grandes e de alguma complexidade, seria através do recurso a ferramentas de simulação computacional detalhada.

Foi nesta década que a comunidade científica que fazia investigação em energia se começou verdadeiramente a interessar pelo tema da simulação, embora já existisse desde a década de 1960 algum trabalho na área. Nesta altura, os desenvolvimentos centraram-se em aspectos da teoria fundamental e nos algoritmos para estimativa das cargas e consumos energéticos, resultando na produção de algumas metodologias simples para estimativa de consumos, como o método dos graus-dia (Hong, Chou, & Bong, 2000).

No final da década de 1970 e começo da década de 1980, passadas as crises petrolíferas, o interesse pela eficiência energética esmoreceu, e dessa forma estagnou o desenvolvimento da simulação energética. Contudo, a partir da segunda metade dos anos de 1980, o advento dos microcomputadores

pessoais com elevada capacidade de processamento permitiu o reatar do interesse pela simulação energética, evoluindo esta para uma nova geração. As únicas variáveis independentes em todos os cálculos efectuados passaram a ser o tempo e o espaço, com todos os restantes parâmetros a ficarem dependentes entre si e deixando de ser possível resolver isoladamente processos de transferência de energia. Isto constituiu o começo da simulação computacional integrada, em que todos os aspectos da simulação são considerados de uma forma global (Clarke, 2001). Surgiram nessa altura, financiados pelo Departamento de Energia dos EUA, programas como o DOE-2, o ESP e o TRNSYS. Contudo, apesar da disponibilidade destes programas, a utilização da simulação computacional continuou a fazer-se maioritariamente para fins de investigação, não sendo aplicada no projecto e remodelação de edifícios, dado o nível de dificuldade e custos envolvidos.

Nos anos de 1990 a situação alterou-se. Assistiu-se globalmente ao incremento das preocupações ambientais, em particular no capítulo dos efeitos da utilização desregrada de combustíveis fósseis. Isto fez surgir o interesse na simulação por parte de arquitectos e engenheiros projectistas de edifícios, pois só assim seria possível a concepção de edifícios económicos, confortáveis e com baixo impactos ambientais. Assistiu-se assim à aceitação generalizada da simulação como ferramenta de análise e projecto em edifícios. Continuou o desenvolvimento da aproximação integrada e surgiram os interfaces de utilização, dando-se início à produção das modernas ferramentas de simulação, como o EnergyPlus.

Mais recentemente, a simulação computacional expandiu os seus horizontes para domínios mais vastos, como a iluminação, a acústica ou a dinâmica dos fluxos de ar.

### **3.2 Porquê simular?**

Há uma série de elementos inter-relacionados que influenciam o projecto de um edifício e as combinações possíveis desses elementos determinam a escolha dos equipamentos a instalar. Os projectistas de edifícios e dos seus sistemas têm um papel preponderante na resolução dos problemas energéticos caso tomem nas fases embrionárias de concepção decisões judiciosas no que concerne às escolhas com implicações energéticas, como a selecção e integração dos sistemas de climatização a instalar.

Os projectos de arquitectura e de engenharia de edifícios, e a sua interligação, são cruciais na determinação da dependência de sistemas mecânicos de climatização para alcance do conforto térmico que o edifício terá. É nessas fases que as decisões tomadas têm maior impacto na prestação térmica do edifício ao longo de todo o seu extenso ciclo de vida. Nas fases mais avançadas de concepção do edifício e na sua fase de utilização, as decisões tomadas no sentido da eficiência energética são

tendencialmente caras e pouco eficazes, como mostram as curvas genéricas da Figura 3.1, adaptada de (Al-Homoud, 2001).

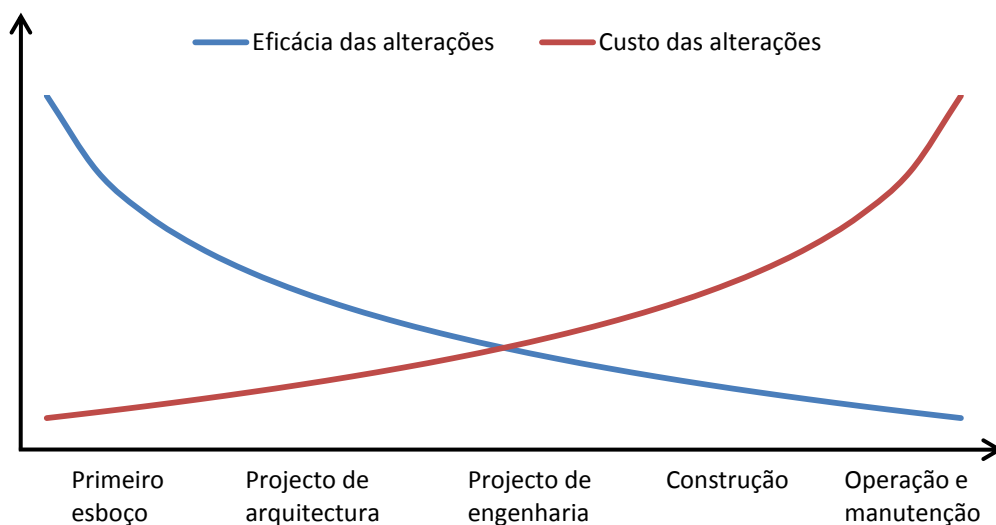


Figura 3.1 – Custos de decisão e os seus impactos na prestação energética de um edifício ao longo das várias fases do seu ciclo de vida

A simulação energética de edifícios torna-se assim para o projectista uma ferramenta determinante e muito útil no cálculo das cargas térmicas em função das ocupações, iluminação artificial, equipamentos, condições climáticas, etc.

Sumariando, as vantagens e necessidades da simulação energética prendem-se com:

- Avaliação do ponto de vista energético de estratégias alternativas de configuração geométrica do edifício, dos sistemas AVAC, componentes, etc.;
- Elaboração de orçamentos anuais precisos no que concerne à facturação energética;
- Determinação do cumprimento dos regulamentos energéticos;
- Os edifícios têm ciclos de vida longos e são substituídos por novos lentamente, pelo que as decisões tomadas nas primeiras fases dos edifícios têm implicações energéticas duradouras, e é nessas fases que apresentam menores custos e têm mais resultados. A simulação é crucial no apoio a essas decisões;
- Os edifícios modernos, em particular os de serviços com grande uso energético e densidade de ocupação, necessitam, regra geral, de sistemas mecânicos de climatização para alcance de conforto térmico, e a simulação permite calcular a eficácia dos equipamentos no alcance desse conforto e prever os seus consumos;
- A simulação permite estimar períodos de retorno económico de diferentes investimentos possíveis, permitindo a sua optimização;

- Nas intervenções de reabilitação em edifícios existentes, só a simulação permite estimar com precisão os impactos das medidas possíveis;
- Num sentido mais lato, o enorme potencial em poupanças energéticas que está subjacente ao sector dos edifícios, como discutido na secção introdutória desta tese, só pode ser capitalizado mediante a utilização de ferramentas avançadas de análise energética, como a simulação.

### 3.3 Software EnergyPlus

Toda a componente de simulação da parte prática desta teste, descrita na Secção 4, foi feita recorrendo à ferramenta EnergyPlus (Figura 3.2).

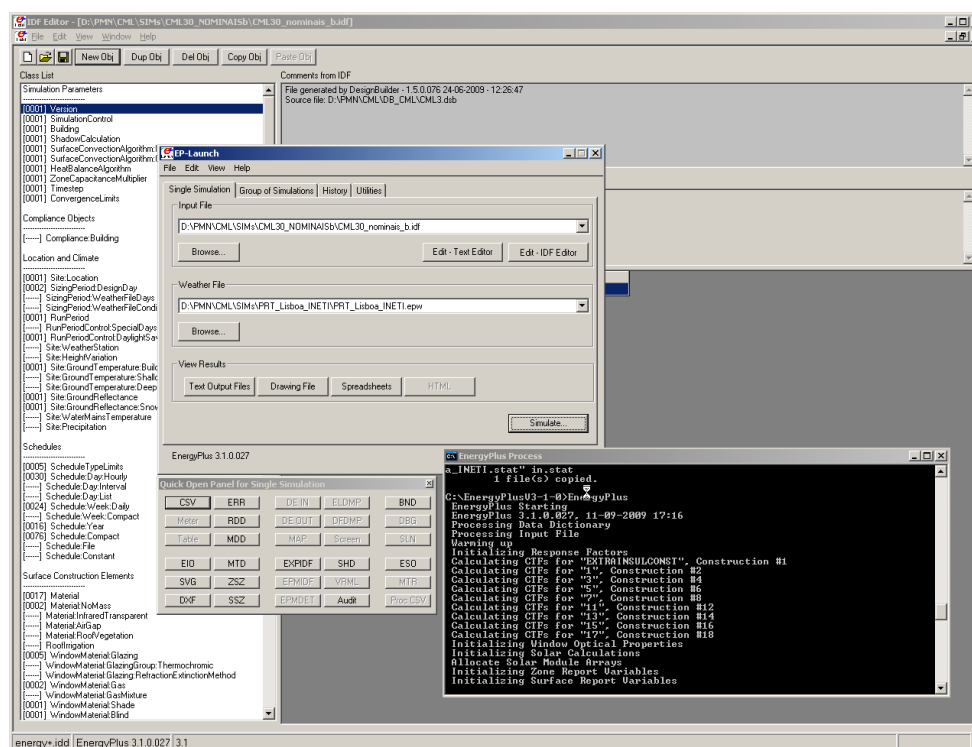


Figura 3.2 – Aspecto do interface do EnergyPlus

Este software começou a ser desenvolvido em 1995 pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE). Até esta altura, o governo norte-americano financiava duas ferramentas distintas de simulação energética, o BLAST, do Departamento de Defesa, e o DOE-2, do Departamento de Energia, mas com finalidades idênticas. Uma vez que o código e subrotinas destas duas ferramentas datava já do final da década de 1960, e por isso o seu desenvolvimento era de difícil execução, o governo norte-americano decidiu fundi-las num só programa, o EnergyPlus. Neste, acrescentaram-se novas funcionalidades em

relação aos programas de origem e o código, aberto e baseado em Fortran 90, foi escrito todo de raiz e organizado em módulos. Esta estrutura modular permite uma compreensão fácil do código e a adição de funcionalidades ao EnergyPlus de forma simples, bem como a sua ligação a outros programas. A aproximação escolhida foi a integrada e a primeira versão do EnergyPlus foi lançada em 2001.

A estrutura do programa está representada na Figura 3.3. As cargas são calculadas pelo módulo de simulação do balanço térmico com um *timestep* definido pelo utilizador, e são passadas para o módulo de sistemas, onde se encontra modelada a climatização do edifício. Este módulo calcula a resposta dos sistemas do edifício (aquecimento e arrefecimento), e dá *feedback* ao módulo de simulação do balanço térmico, que incorpora esta resposta no *timestep* seguinte. Todo o processo é controlado pela componente de gestão de simulação.

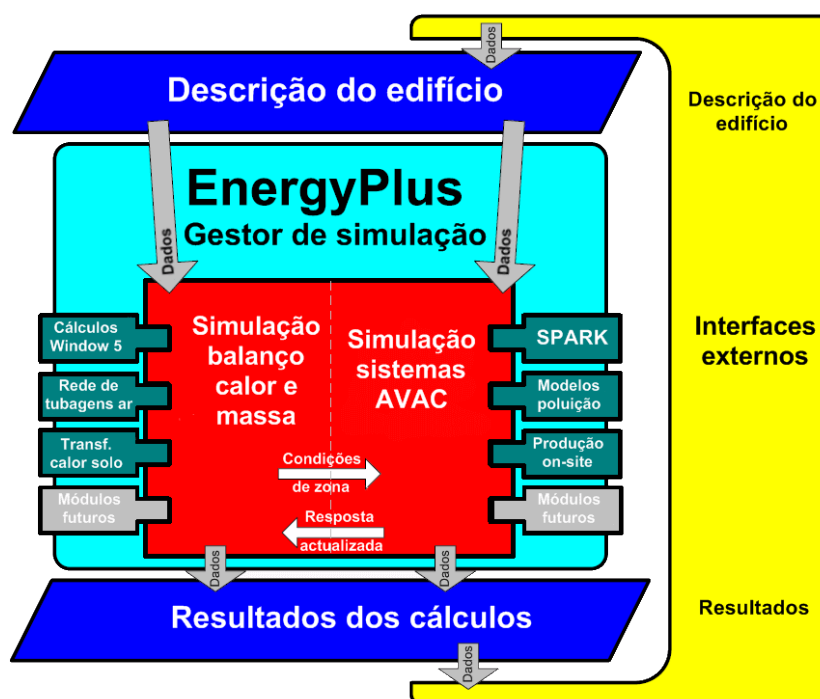


Figura 3.3 – EnergyPlus: modo geral de funcionamento

O método subjacente a todos os cálculos efectuados é o do balanço de energia e massa. A assumption fundamental deste método é de que a massa de ar em cada zona térmica pode ser modelada como perfeitamente bem misturada, apresentando uma temperatura uniforme ao longo de todo o espaço. Trata-se de uma aproximação que, embora não reflecta a realidade física correctamente, na maior parte dos casos conduz a resultados suficientemente bons.

Em alternativa a esta aproximação, o EnergyPlus permite actualmente a utilização de modelos simplificados com estratificação de ar. Uma outra opção é a simulação dinâmica de fluidos (CFD), um processo complexo e computacionalmente exigente de simulação de movimento de fluidos (neste caso, ar), que nem sempre conduz a resultados relevantemente diferentes dos conseguidos com os

modelos simplificados de estratificação. O CFD pode ser acoplado no EnergyPlus como módulo externo.

As outras assumções fundamentais no modelo de balanço térmico são que as superfícies das zonas (paredes, janelas, tectos e chão) apresentam em toda a sua área (Crawley, et al., 2001):

- Temperaturas uniformes;
- Irradiação uniforme nos grandes e pequenos comprimentos de onda;
- Difusão radiativa;
- Condução térmica unidimensional.

O balanço térmico do ar é calculado pela expressão

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i c_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} c_p (T_{inf} - T_z) + \dot{Q}_{sistema} \quad (3.1)$$

Sendo:

$\dot{Q}_{sistema} = \dot{m}_{sis} c_p (T_{sis} - T_z)$  – carga térmica do sistema AVAC introduzida na zona;

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$  – somatório dos ganhos convectivos interiores;

$\sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$  – transferência convectiva de calor das superfícies;

$\dot{m}_{inf} c_p (T_{inf} - T_z)$  – trocas de calor por infiltração de ar exterior;

$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i c_p (T_{zi} - T_z)$  – trocas de calor por mistura de ar entre zonas (*mixing*);

$C_z \frac{dT_z}{dt}$  – energia armazenada no ar.

A derivada da temperatura da zona térmica é calculada através de uma aproximação de diferenças finitas de terceira ordem (U.S. Department of Energy, 2009). A introdução de um termo de capacitância de zona,  $C_z dT_z/dt$ , permite a variação da temperatura de zona,  $T_z$ . Nos programas anteriores baseados no cálculo do balanço térmico, este termo era sempre igual a zero.

A estratégia básica por detrás deste método consiste em prever as cargas de climatização necessárias de modo a manter a temperatura de zona num determinado valor ( $\dot{Q}_{sistema} = \dot{Q}_{cargas}$ ); de seguida, simula o sistema real AVAC e determina a sua capacidade em cumprir este objectivo, apurando  $Q_{sistema}$ ; o ciclo é reiniciado recalculando o balanço térmico e determinando a temperatura real da zona.

## 4. Caso de estudo

A presente secção descreve a metodologia utilizada no processo conducente à Certificação Energética do edifício dos Paços do Concelho da Câmara Municipal de Lisboa, excluindo a vertente da qualidade do ar interior por se encontrar fora do âmbito que presidiu à elaboração do trabalho. O levantamento da informação foi efectuado em visitas ao edifício ocorridas nos meses de Março e Abril de 2009. Será dado especial relevo aos procedimentos tomados na fase de Simulação Dinâmica Detalhada.

As etapas do processo foram, por ordem:

- Recolha de Informação:
  - Arquitectura, soluções construtivas e sistemas de climatização;
  - Utilização dos espaços: ocupação, equipamento e iluminação instalados;
  - Gestão: horários e regras de funcionamento do edifício e dos vários sistemas envolvidos;
  - Histórico do consumo energético: compilação e análise de facturas energéticas;
- Produção do Modelo de Simulação real:
  - Construção do modelo de simulação, incluindo caracterização das construções e sistemas;
  - Calibração (validação) do modelo de simulação, utilizando as condições reais de funcionamento e verificando a concordância dos consumos energéticos previstos por simulação com os consumos reais registados em anos anteriores;
- Simulação do Edifício real em condições nominais:
  - Utilizando o modelo calibrado na fase anterior, e considerando agora os padrões nominais (densidades e horários) previstos no RSECE (Decreto-Lei 79/2006), com estimativa das várias componentes de consumo de energia no edifício;
  - Cálculo dos Indicadores de Desempenho Energético e determinação da classe energética do edifício;
- Cenarização energética:
  - Utilizando o modelo de simulação, foi efectuada uma avaliação do impacto de diferentes medidas que visam a melhoria do desempenho energético real do edifício, estimando ainda a sua viabilidade económica por meio do cálculo do período de retorno simples;

- Estimativa do impacto que estas melhorias podem ter no Indicador de Eficiência Energética do Edifício e classe energética possível de alcançar caso estas se concretizem;
- Preenchimento da Declaração de Conformidade Regulamentar:
  - Trata-se do último passo no contexto da auditoria realizada ao edifício no âmbito do SCE.

#### **4.1 Recolha de informação**

A primeira etapa do trabalho consistiu na recolha tão exaustiva quanto possível da informação relevante para o mesmo. Essa recolha deu-se nas várias visitas efectuadas ao edifício, por telefone e por e-mail, com recepção através desta via de alguma informação em suporte digital. Do lado da CML, os principais intervenientes no facultar de informação foram o Eng.º António Dimas, responsável técnico pelo edifício, e o Sr. Leonel dos Reis, encarregado técnico.

Existiram algumas dificuldades pontuais no acesso a alguma informação relevante, nomeadamente:

- Não foi possível a consulta de cortes e alçados arquitecturais visto os mesmos não se encontrarem disponíveis. Como resultados, foram *in situ* recolhidos todos os dados necessários que estes documentos poderiam providenciar, como por exemplo a altura dos pés-direitos, dos vãos envidraçados, dos parapeitos e a configuração de fachadas;
- Não foi possível o acesso à base de dados centralizada do sistema AVAC, com históricos de consumos e pormenores da gestão de funcionamento. Isto deu-se por motivo de o sistema informático de gestão dos equipamentos ser do tipo proprietário (Daikin), e de acesso restrito, obrigando, segundo a informação veiculada, à aquisição de um software oneroso para acesso a esses dados. Uma vez que o computador de controlo tinha, havia pouco tempo, sido substituído, por avaria do anterior, e portanto o histórico seria pouco relevante visto apresentar pouca extensão, foi nossa óptica optar por prescindir destes dados. De toda a forma, o inquérito e o projecto de climatização permitiram o apuramento de toda a informação relevante neste capítulo. É contudo recomendável a instalação futura de um contador específico dos consumos eléctricos de AVAC, pelos menos para os componentes centralizados na cobertura (UTAN, BC/chiller, etc. – ver Secção 4.2.3), e para os restantes caso a exequibilidade técnica não seja especialmente difícil.



O processo de recolha de informação permitiu assim aglutinar os seguintes elementos:

- Plantas de arquitectura do edifício;
- Projectos de climatização e luminotecnia, datados de 1997;
- Horários de utilização dos espaços;
- Ocupação, iluminação (quando disponível do projecto) e equipamentos existentes;
- Histórico dos consumos de energia, através da compilação de facturas energéticas;
- Outras informações arquitecturais relevantes.

## 4.2 Descrição do edifício

O edifício em estudo localiza-se na Praça do Município, em Lisboa (Figura 4.1), e constitui sede da Câmara Municipal. Alberga no seu interior espaços com funcionalidades diversas e, pelo seu carácter e área útil (5398 m<sup>2</sup>), é considerado um grande edifício de serviços, ficando ao abrigo do RSECE. Recorde-se que a definição neste regulamento de Grandes Edifícios de Serviços é *todos os edifícios não residenciais, com ou sem sistemas de climatização, que tenham mais de 1000 m<sup>2</sup> de área útil de pavimento, excepto centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas, que são considerados Grandes Edifícios quando a área útil de pavimento for maior que 500 m<sup>2</sup>.*



Figura 4.1 – Vista aérea da Praça do Município de Lisboa

O edifício possui quatro andares, e ainda um intermédio entre os pisos 1 e 2 que abarca apenas parte da ala noroeste do edifício, cuja existência é possível devido ao elevado pé direito dos pisos, e em particular do primeiro (6,65 m – o pé direito desse piso intermédio é de 2,76 m). A distribuição dos espaços mais relevantes pelos andares é a que consta na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Principais espaços em cada piso do edifício

Piso 1 (Térreo)	Átrio de entrada Recepção Escadaria central (até ao piso 2) Galeria de exposições Sala de sessões públicas
Piso intermédio	Gabinets de funcionários
Piso 2 (Nobre)	Salão Nobre Sala Reuniões Informais Gabinets de funcionários
Piso 3	Casa de jantar Sala dos Vereadores Cozinha Gabinets de funcionários
Piso 4	Galerias AVAC

#### 4.2.1 Nota histórica

O edifício dos Paços do Concelho originalmente data do período de reconstrução pombalina que se deu após o sismo de 1755, sendo o projecto de arquitectura dessa época assinado pelo Arq. Eugénio dos Santos Carvalho. Contudo, a 19 de Novembro de 1863 um violento incêndio destruiu completamente o edifício original.

Foi construído um novo edifício no mesmo local, entre 1865 e 1880, cuja obra decorreu com base num projecto arquitectónico da responsabilidade do então arquitecto camarário Domingues Parente da Silva. O desenho do remate da fachada foi modificado por decisão do Eng.º Ressano Garcia, responsável pelos Serviços Técnicos da Câmara, dando origem ao grande frontão clássico com decoração escultórica da autoria do escultor francês Anatole Calmels, conforme se vê na Figura 4.2 (Amaral, 2008). No interior destaca-se a intervenção do Arq. José Luís Monteiro, sobretudo na escadaria central, bem como a decoração pictórica a cargo de vários artistas, dos quais se salientam José Pereira Júnior (Pereira Cão), Columbano Bordalo Pinheiro e José Malhoa, revelando deste modo todo o edifício um conjunto destacado de intervenientes, tanto a nível arquitectónico e construtivo, como decorativo, apresentando uma estética e inovação de grande interesse.



Figura 4.2 – Fachada frontal do edifício dos Paços do Concelho de Lisboa

A 7 de Novembro de 1996 um novo incêndio destruiu os pisos superiores, ficando afectados os tectos e pinturas do primeiro andar. Depois de avaliado o impacto do incêndio, foram tomadas opções quanto ao Plano Geral de Intervenção para a Recuperação do Edifício dos Paços do Concelho, conduzido pelo Arq. Silva Dias. Optou-se nessa altura por seguir um critério de fidelidade à tradição Histórica e Arquitectónica, enveredando por uma aproximação ao projecto inicial do Arq. Domingos Parente, retomando desta forma as raízes essenciais do projecto de arquitectura original e que vinha a ser adulterado por construções mais tardias nas décadas de 1930 e 1940. Dois objectivos pautaram este plano: por um lado, restaurar as áreas nobres, de reconhecido valor histórico e artístico, e, por outro, dotar os pisos já anteriormente vocacionados para o desempenho institucional de um perfil funcional, conciliando o acesso e a utilização de parte desses espaços pelo munícipe.

Com esse propósito, foi então proposto um desafio criativo a alguns dos mais notáveis arquitectos e artistas de Lisboa, o que tornou o edifício dos Paços do Concelho um exemplo de diálogo entre o património histórico e arquitectónico e a criação artística arquitectónica contemporânea. Foram intervenientes nesta reconstrução os arquitectos João de Almeida, Manuel Tainha, Nuno Teotónio Pereira, professor Daciano Costa e os artistas Sá Nogueira, Fernando Conduto, Maria Velez, Helena Almeida, Pedro Calapez, Jorge Martins.

Os Paços do Concelho são assim uma obra do Arq. Domingos Parente da Silva, do escultor Calmels, do Arq. José Luís Monteiro, Columbano Bordalo Pinheiro, Pereira Cão, José Malhoa, entre outros, aos quais se juntaram os nomes que tornaram possível o restauro das obras de arte danificadas, das pinturas, dos estuques, das cantarias e da estatuária, e também o surgimento de uma nova arquitectura

que agora incorpora o edifício se uma forma harmoniosa. Tudo isto torna emblemático o edifício dos Paços do Concelho da cidade de Lisboa (Câmara Municipal de Lisboa, 2009).

#### 4.2.2 Soluções construtivas

Embora não tenha sido possível consultar documentação com informação específica acerca das soluções construtivas utilizadas no edifício, por inexistência ou difícil acesso à mesma, dada a sua antiguidade, é seguro assumir que, maioritariamente, as suas paredes são de alvenaria de pedra rebocada do tipo *tout-venant* (pedra de vários calibres resultante de desperdícios argamassada com material argiloso). Trata-se de uma típica construção da época, com paredes maciças e espessas, quer as exteriores, na ordem de 1,0 m, quer as interiores, com espessura variável a poder atingir 0,5 m, sendo por esse motivo o edifício dotado de uma elevada inércia térmica. O tecto do piso térreo é constituído por arcos e abóbadas de cantaria de pedra e nos pisos superiores crê-se que o pavimento assenta sobre vigamentos de madeira, revestidos superiormente por soalho e inferiormente por tectos em estuque ou madeira trabalhados.

A inexistência de pilares e de vigas de sustentação nas paredes exteriores de diferente material, e a ligação dos pisos à fachada feita por elementos de madeira embebidos na parede (Mascarenhas, 2004), proporciona a inexistência na envolvente de pontes térmicas, planas e lineares.

Os envidraçados existentes constituem menos de 50% da área de fachada e são do tipo vidro simples corrente. O caixilho é de madeira, sendo permitida a abertura (apesar de, regra geral, os ocupantes não se servirem desta funcionalidade), apresentando algumas janelas no topo uma faixa de vidro semi-circular ou rectangular sem possibilidade de abertura, com vidro convencional na maior parte dos casos e com vidro difusor translúcido noutros casos (Figura 4.3).

O sombreamento é feito nos pisos superiores pelo interior recorrendo a estores de tecido de cor clara, os quais existem na generalidade dos envidraçados, incluindo os circulares existentes no piso 3. O sistema é manual e, por norma, é accionado pelos ocupantes quando existe incidência directa de radiação solar, para controlo do encandeamento e desconforto térmico. As janelas do piso térreo são dotadas de portadas interiores em madeira. Na Figura 4.4 é possível constatar o sombreamento por estore tipo cortina (pisos superiores) e por portada (piso térreo).





Figura 4.3 – Exemplo de configuração de janela com difusor de vidro translúcido no topo



Figura 4.4 – Aspecto da fachada Sul e dos sombreamentos existentes nos interiores nos envidraçados

A cobertura do edifício, por cima da zona técnica, é constituída por chapa zincada com isolamento pelo interior.

Na Tabela 4.3 apresenta-se uma súmula das soluções construtivas utilizadas e das suas propriedades térmicas. No cálculo das resistências térmicas totais consideraram-se as resistências convectivas para as superfícies dos elementos que constam da Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resistências convectivas superficiais utilizadas no cálculo das condutibilidades térmicas globais das soluções construtivas

	$R1 (1/h_1)$ ( $m^2 \cdot K/W$ )	$R2 (1/h_2)$ ( $m^2 \cdot K/W$ )
Paredes externas	0,04 (exterior)	0,13 (interior)
Paredes internas	0,13	0,13
Pavimento interno	0,10	0,10
Cobertura	0,04 (exterior)	0,13 (interior)

Tabela 4.3 – Coeficientes de transmissão térmica dos elementos construtivos

	l (m)	λ (W/m.K)	R <sub>total</sub> (m².K/W)	U <sub>global</sub> (W/m².K)
Paredes exteriores				
Tout-venant	1,25	1,25	1,19	0,84
Reboco argamassa	0,04	1,80		
Paredes interiores				
Tout-venant	0,30	1,25	0,54	1,87
Estuque tradicional	0,02	0,57		
Pavimento interno				
Cantaria de pedra	0,20	3,50	0,51	1,96
Estuque tradicional	0,02	0,57		
Blocos madeira	0,03	0,14		
Cobertura				
Chapa metálica (cobre)	0,01	110	1,00	1,00
Isolamento lã de rocha	0,03	0,036		

As características consideradas dos vidros dos vãos envidraçados apresentam-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Características do vidro dos vãos envidraçados da envolvente

	l (mm)	g (factor solar)	U (W/m <sup>2</sup> .K)
Vidro do tipo SGG Planilux da Saint-Gobain Glass	4	0,85	5,8

O núcleo da construção possui um pé direito igual à altura total do edifício (21 m), e estende-se desde o miolo do piso térreo, onde inicia a escadaria central, até à cúpula no topo.

### 4.2.3 Sistemas de climatização

A zona técnica de AVAC está instalada sob a cobertura e a admissão de ar para os equipamentos é assegurada por grelhas de ventilação verticais existentes ao longo do perímetro da cobertura. A exaustão é feita através de grelhas existentes no plano da cobertura, abaixo das clarabóias existentes nas águas sul e norte. As zonas climatizadas do edifício são servidas pelos seguintes sistemas:

- Duas unidades centrais de tratamento de ar novo do tipo água-ar (Figura 4.5):
  - UTAN1 – marca Wolf, modelo KG100, com um caudal de ar de 5100 m<sup>3</sup>/h. Serve a ala norte do edifício;
  - UTAN2 – marca Wolf, modelo KG63, com um caudal de ar de 4200 m<sup>3</sup>/h. Serve a ala sul do edifício;



Figura 4.5 – UTAN instalada sob a cobertura

- Chiller e bomba de calor do tipo ar-água. Trata-se de um equipamento da marca Carrier, modelo 30YQ020, com uma potência de arrefecimento de 65 kW e uma potência de aquecimento de 73 kW. A água refrigerada pelo chiller ou aquecida pela bomba de calor alimenta as UTANs através de tubagem de dois tubos. Temos, portanto, produção alternada de frio e calor. A circulação hidráulica é assegurada por um par de electrobombas gémeas (uma de reserva, em caso de falha da principal), de 3 kW cada.
- Unidades condensadoras do tipo VRV (Figura 4.6). Trata-se de um total de 26 equipamentos da marca Daikin ou da marca RC Condizionatori, com potências variáveis de acordo com o espaço que servem. Ligam por tubagem hidráulica de fluido frigorigéneo às unidades evaporadoras terminais interiores que existem nos pisos inferiores.



Figura 4.6 – Unidades condensadoras instaladas sob a cobertura

- Unidades evaporadoras terminais do tipo VRV (que, em conjunto com as unidades condensadoras existentes no topo, constituem sistemas do tipo *split*), funcionando em modo de aquecimento e arrefecimento. Existem 23 destas unidades no piso térreo, 4 unidades no piso intermédio, 20 unidades no piso nobre e 14 unidades no piso 3, perfazendo um total de 61 evaporadores. A sua potência e configuração (horizontal de tecto, patente na Figura 4.7, ou vertical embutido em armário) são variáveis com o espaço que servem. O controlo destes equipamentos é feito pelos utilizadores dos espaços ou, na omissão deste, pelo computador de controlo central.





Figura 4.7 – Unidade evaporadora horizontal no tecto

As unidades evaporadores fazem recircular o ar dos espaços que servem, tratando-o termicamente, ao qual se junta nalguns casos o ar novo fornecido pelas UTANs. O caudal de ar novo introduzido em cada espaço é fixo e o controlo manual das unidades evaporadoras locais é possível. Existem assim três formas de climatização dos espaços:

- Espaços somente com ar tratado termicamente, ou seja, em exclusivo ar recirculado pelas unidades evaporadores interiores, sem admissão mecânica de ar novo;
- Espaços com admissão mecânica de ar novo directa e, em paralelo, com recirculação de ar pelas unidades evaporadoras;
- Ar novo admitido com tratamento térmico final dado pela unidade evaporadora do espaço, ao qual se junta ar recirculado, ou seja, espaços com admissão de ar novo indirecta. Na Figura 4.8 exemplifica-se este caso, em que o ar novo chega pela conduta a verde, o ar é exaurido do espaço pela conduta azul e é novamente colocado no espaço, já misturado com ar novo, pela conduta vermelha.

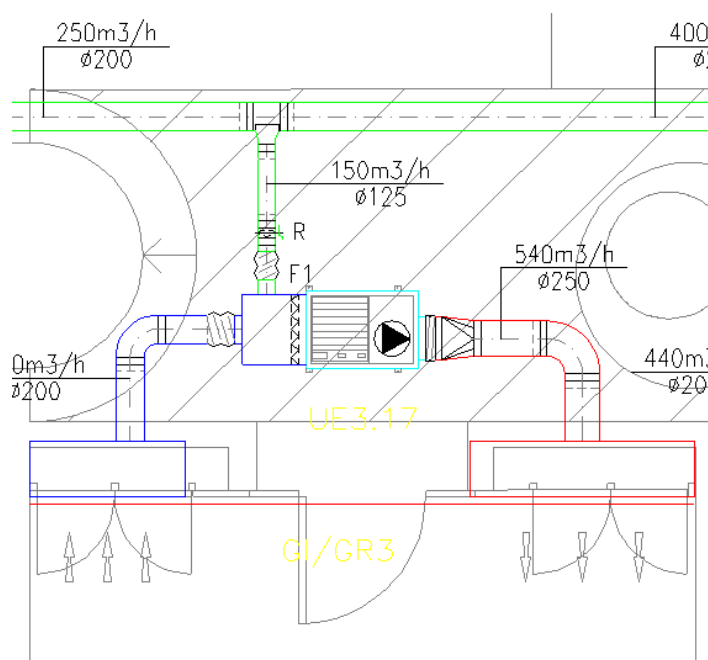


Figura 4.8 – Exemplo de admissão de ar novo com tratamento térmico final por unidade evaporadora

Note-se que, na configuração actual do sistema, nem todas as zonas com ocupação permanente (tipicamente, espaços de trabalho) estão dotadas de sistemas para introdução de ar novo.

#### 4.2.4 Ventilação

Para além do sistema de distribuição de ar associado ao sistema de climatização, existem ainda os seguintes sistemas de ventilação:

- Ventiladores de extracção de ar, nomeadamente das instalações sanitárias e de alguns outros espaços, e de desenfumagem, num total de 11 sob a cobertura e 2 no piso térreo, com caudais de ar e potências de funcionamento variáveis.

#### 4.2.5 Bombas hidráulicas de emergência

O edifício possui numa área técnica a um nível abaixo do piso térreo electrobombas de expulsão de água (Figura 4.9), que se destinam a controlo de inundações por subida do nível freático. Estas bombas actuam apenas em casos de emergência, e não foi determinada qual a periodicidade média de entrada em funcionamento, mas estima-se que o seu funcionamento se limita a algumas horas por ano.



Figura 4.9 – Bombas hidráulicas para expulsão de água em caso de inundação

#### 4.2.6 Iluminação

Foi efectuado um levantamento tão exaustivo quanto possível do diferencial entre o projecto de luminotecnia que foi fornecido, com mais de dez anos, e a iluminação realmente existente em todo o edifício. Ao longo deste espaço de tempo constatou-se que existiram algumas alterações, nomeadamente ao nível das lâmpadas utilizadas, que em alguns casos já são de baixo consumo, algo que o projecto não contemplava à data. Foi igualmente, através de inquérito, levantado o perfil de utilização dessa iluminação, quer em horário, quer em percentagem de utilização da potência total instalada.

Uma fracção significativa da iluminação existente, e em particular nos gabinetes, é feita por sanca no tecto, através de lâmpadas tubulares fluorescentes. Dado o valor arquitectónico dos espaços, existe também uma fracção significativa de iluminação efectuada através de lâmpadas incandescentes instaladas em candeeiros de lustre, que contribuem para esse valor. De referir que as instalações sanitárias são dotadas de células de presença.



Figura 4.10 – Pormenor da iluminação em candeeiro de lustre (Salão Nobre)

A distribuição da potência de iluminação pelos espaços é a que consta na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Iluminação: potências instaladas e densidades de potência nos espaços do edifício

	Potência instalada (w)	Densidade de potência (W/m <sup>2</sup> )
Circulações	18964	10,6
Biblioteca	7647	15,0
Sala sessões públicas	5508	33,3
Gabinets	27650	21,4
Salão Nobre	7704	37,1
Galeria exposições	6142	30,7
Casa de jantar	9040	191,4
Outros	12048	10,3

Nota desde já para a elevada densidade de potência de iluminação apresentada pela Casa de Jantar, que decorre do facto de este espaço, por motivos arquitecturais, ser parcialmente iluminado por fibra óptica.

Esta distribuição, em percentagem, toma o aspecto ilustrado pela Figura 4.11:

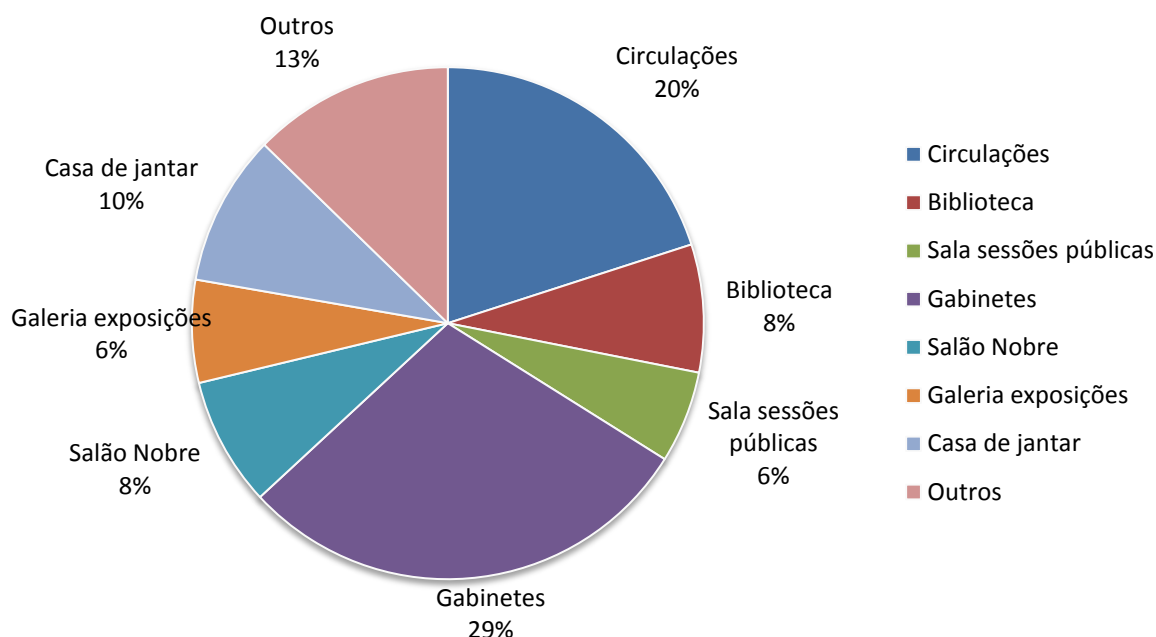


Figura 4.11 – Distribuição das potências de iluminação pelos espaços do edifício

#### 4.2.7 Equipamentos

Foi efectuado neste capítulo igualmente um levantamento tão exaustivo quanto possível de toda a aparelhagem existente no edifício, bem como dos seus perfis de utilização. Quando possível, foi verificada *in situ* a potência de cada aparelho em particular, e utilizada essa potência nos *inputs* de simulação. Quando isto não foi possível, por exemplo por inexistência de etiqueta nos aparelhos, a potência contabilizada foi a fornecida pela base de dados pública HomeSpeed (Directorate-General Energy and Transport - European Commission, 2009), sob alçada do programa SAVE da Comissão Europeia, no âmbito da promoção de boas práticas de eficiência energética nos estados membros. Trata-se de uma ampla compilação das especificações de consumo de aparelhos eléctricos domésticos e de escritório, agregadas por marca e modelo.

O edifício possui no seu interior toda a panóplia de equipamentos típicos de um edifício de serviços camarário, incluindo servidores informáticos ligados em permanência, uma UPS, para reserva de energia para os equipamentos informáticos em caso de falha de electricidade da rede eléctrica, e dois elevadores, sendo um deles hidráulico. Possui ainda, em zona técnica do último piso, um grupo gerador a diesel para situações de emergência.

Nos gabinetes dos Vereadores, a informação que obtivemos foi de que estes não possuem computadores de secretária, pelo que se considerou na modelação a existência de computadores

portáteis em substituição. Para todo o edifício, a densidade de potência de equipamento é de 5,52 W/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.8 Facturação de energia

O edifício não possui ligação à rede de gás, sendo toda a aparelhagem, incluindo a das zonas de copa e cozinha, alimentada a electricidade. A única factura de energia existente é a da EDP.

Uma vez que existe apenas um contador eléctrico para todo o edifício, não existe informação desagregada de consumos para as diferentes utilizações, nomeadamente consumos dos elementos de climatização, elevadores ou iluminação.

A informação de facturação que nos foi disponibilizada diz respeito ao período de Dezembro de 2002 a Janeiro de 2009, ou seja, seis anos completos. Esses consumos são os que se apresentam na Figura 4.12.

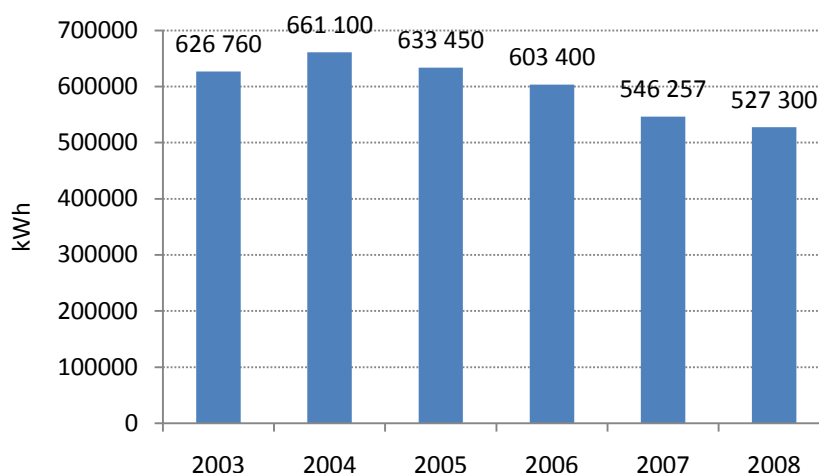


Figura 4.12 – Consumos eléctricos facturados ao edifício de 2003 a 2008

Optou-se, no cálculo da média anual dos consumos eléctricos que é utilizada para efeitos comparativos na simulação, por considerar somente os três últimos anos (2006, 2007 e 2008), por serem provavelmente mais representativos da situação actual (por exemplo, os perfis de utilização do edifício actualmente poderão não corresponder com exactidão ao que eram há seis anos atrás, por alteração no número de utilizadores do edifício, etc.). Esse valor é de 558896 kWh/ano, o que corresponde a um consumo por unidade de área útil de 103,55 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Este valor permite-nos já calcular o  $IEE_{real, facturas}$ , cuja metodologia de obtenção é, conforme referido na Secção 2.3.2, por análise simples das facturas energéticas dos últimos três anos, sem efectuar correcção climática e utilizando o factor de conversão  $F_{pu}$  (referido na Secção 4.4.10). Assim, temos

$$IEE_{real, facturas} = 30,0 \frac{kgep}{m^2 \cdot ano}$$

A facturação é feita numa base tri-horária, com consumos discriminados em horas de vazio, ponta e cheia. O preço médio ponderado pago pela energia nestes diferentes períodos é de 0,115 €/kWh.

Numa base mensal, os consumos eléctricos tomam o aspecto que a Figura 4.13 evidencia. Naturalmente, as estações com temperaturas extremas implicam maiores consumos, sendo o período de meia estação o mais frugal. Realce também para os consumos serem superiores no Verão face ao Inverno, conforme seria expectável num edifício de serviços situado em região de clima temperado.

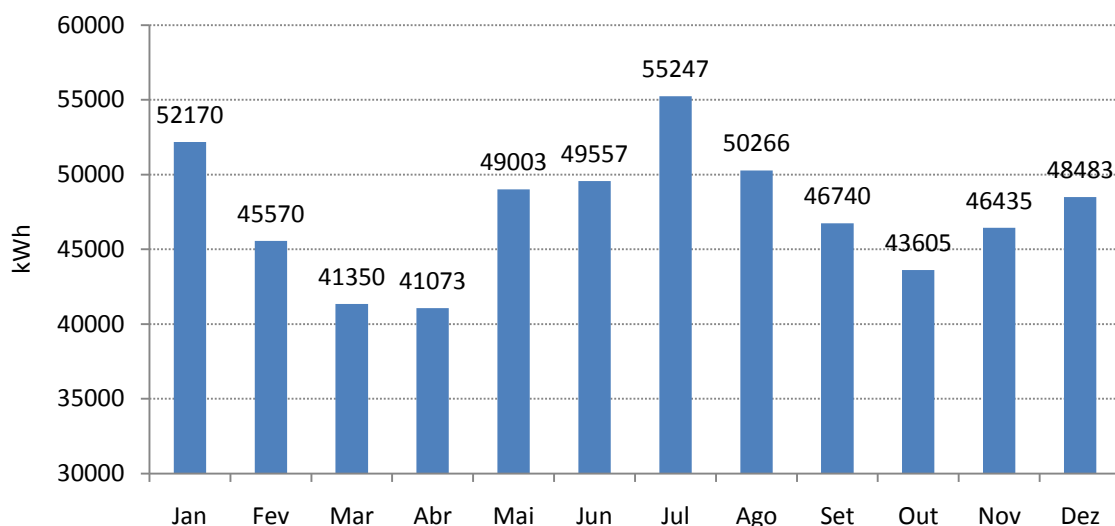


Figura 4.13 – Consumos eléctricos médios mensais para os últimos três anos

### 4.3 Local e análise climática

O edifício está implantado num local geográfico caracterizado por um clima do tipo temperado mediterrânico, em que a estação fria está associada à estação das chuvas. Os Invernos são caracterizados por temperaturas amenas, devido às correntes marítimas de temperatura estável. Os Verões são relativamente frescos, devido às mesmas correntes marítimas, que exercem um efeito de inércia na temperatura atmosférica local, e secos, devido aos centros barométricos de alta pressão.



Para efeitos de simulação dinâmica, foram utilizados dados climáticos horários com registo de várias grandezas relevantes para o comportamento térmico do edifício, tais como a temperatura exterior do bolbo seco e bolbo húmido, humidade relativa exterior, radiação solar directa e radiação solar difusa. O ficheiro climático utilizado possui os dados climáticos representativos de um ano típico de Lisboa em base horária (fonte: INETI).

Na Figura 4.14 encontra-se patente uma representação gráfica tridimensional dos valores de temperatura do bolbo seco contidos no ficheiro climático utilizado, com a hora do dia e semana do ano nos eixos horizontais e a temperatura no eixo vertical.

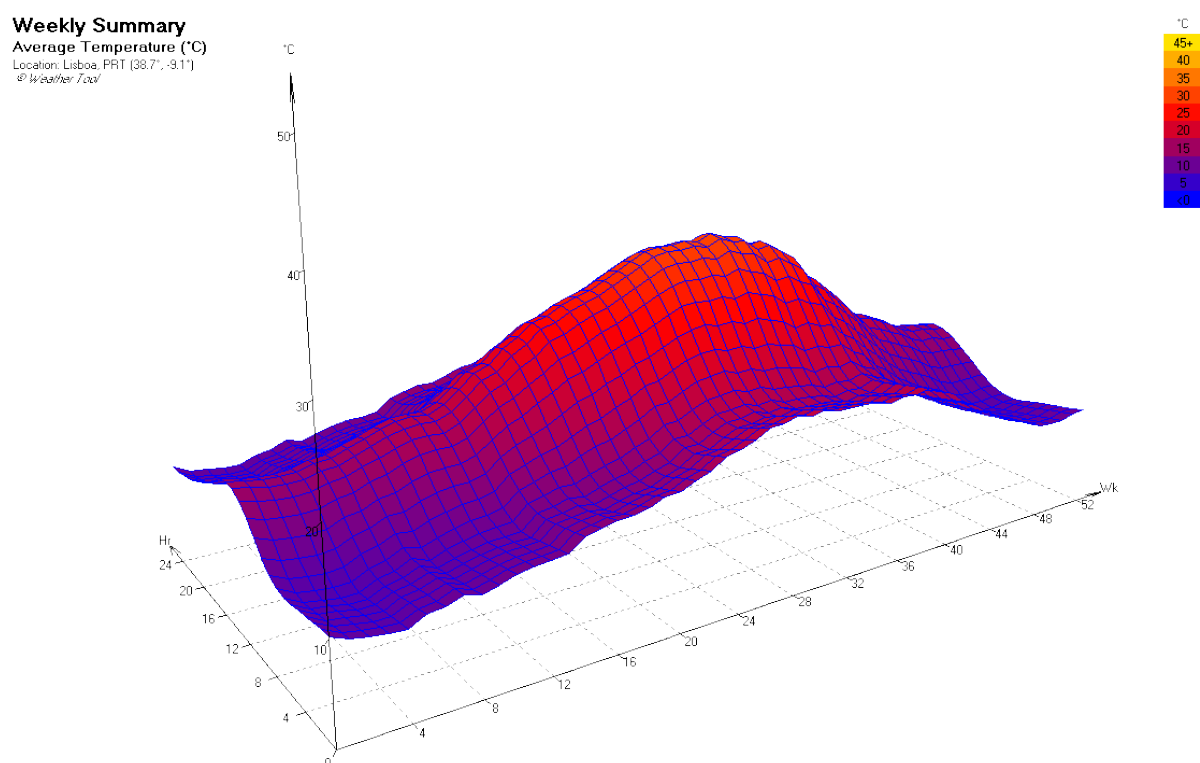


Figura 4.14 – Clima local: temperatura média do bolbo seco horária ao longo das semanas do ano

Na Figura 4.15 apresenta-se uma análise mais detalhada do clima local, com realce para as características mais importantes na interacção com o edifício. Para os doze meses do ano, as linhas amarelas identificam os valores médios mensais em cada hora da radiação solar directa (linha em amarelo contínuo) e a radiação solar difusa em plano horizontal (linha em amarelo tracejado). As linhas azuis superior e inferior apresentam os valores máximos e mínimos mensais de temperatura registados em cada hora do dia, representando a mancha vermelha compreendida entre estas linhas o intervalo de temperaturas do ar registadas num ano típico. A linha azul central corresponde à temperatura de bolbo seco média mensal em cada hora do dia e a faixa verde corresponde à temperatura de conforto percebida, ou seja, delimita uma faixa denominada de zona térmica neutra.



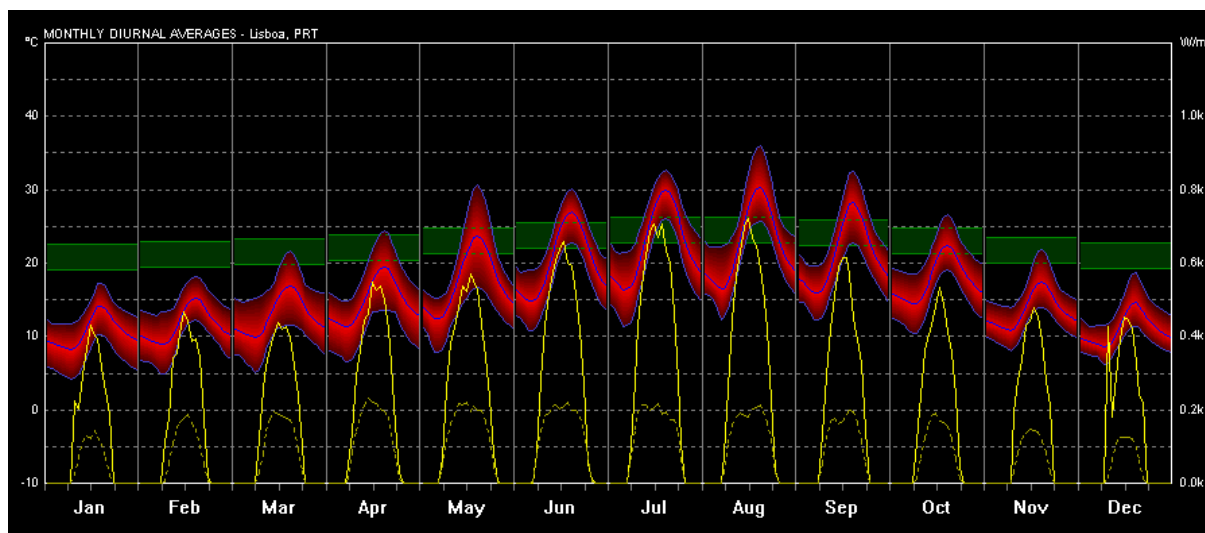


Figura 4.15 – Clima local: valores horários médios mensais de radiação solar e temperatura

Quanto à orientação do edifício em relação aos pontos cardeais, a sua fachada frontal encontra-se virada a WSW, tendo o eixo NNW do edifício um desvio de  $17^\circ$  relativamente ao Norte geográfico (Figura 4.16)



Figura 4.16 – Orientação geográfica do edifício

Tendo em conta a localização do edifício, as suas características e tipo de utilização, e o clima típico de Lisboa, em particular as temperaturas amenas tanto de Verão como de Inverno:

- É de esperar que as necessidades de aquecimento sejam reduzidas face às de arrefecimento (situação típica para edifícios de serviços, devido às cargas internas existentes e temperaturas invernais pouco extremas);
- A elevada disponibilidade solar, como a Figura 4.15 permite aferir, cria a oportunidade para a instalação de painéis solares fotovoltaicos nas águas sul da cobertura do edifício;
- A proximidade ribeirinha cria a oportunidade de permuta de calor entre os sistemas de produção térmica do edifício e a massa de água subterrânea, com um desejável aumento do COP desses equipamentos.

#### **4.4 Modelação com condições reais**

O primeiro passo da componente de simulação da auditoria consistiu em construir um modelo de simulação, utilizando a ferramenta EnergyPlus, que representasse o edifício nas condições reais de funcionamento conhecidas. A construção de um modelo de simulação representativo da realidade não é um processo linear, mas de alguma maneira iterativo, em que a análise dos resultados gera repetidamente ajustes no modelo e na compreensão do sistema. Particularmente, os resultados obtidos na simulação, quando comparados com os consumos de energia efectivamente registados, permitem estimar a eficiência global efectiva do sistema de climatização. Nesta secção descreve-se a metodologia aplicada para a simulação, que cumpre os requisitos do RSECE para edifícios de serviços com mais de 1000 m<sup>2</sup> (simulação dinâmica detalhada multizona). Consideraram-se as soluções construtivas descritas anteriormente e o ficheiro climático utilizado na simulação corresponde, conforme referido, a um ano típico para Lisboa.

##### **4.4.1 Modelo geométrico**

Em toda a definição geométrica do modelo foi utilizado o software DesignBuilder, versão 1.8.1.001. Trata-se de uma ferramenta desenvolvida no Reino Unido assente no código do EnergyPlus v2.2.0.025 que permite efectuar, de uma forma mais facilitada face a este, toda a simulação energética multizona detalhada de um edifício. Se comparado com a utilização directa do EnergyPlus, apresenta contudo algumas limitações. Visto isto, a metodologia utilizada neste trabalho foi de fazer uso do DesignBuilder somente como interface gráfico para produção do modelo geométrico e definição de algumas soluções construtivas, como a constituição das paredes (Figura 4.17) e dos vãos envidraçados.

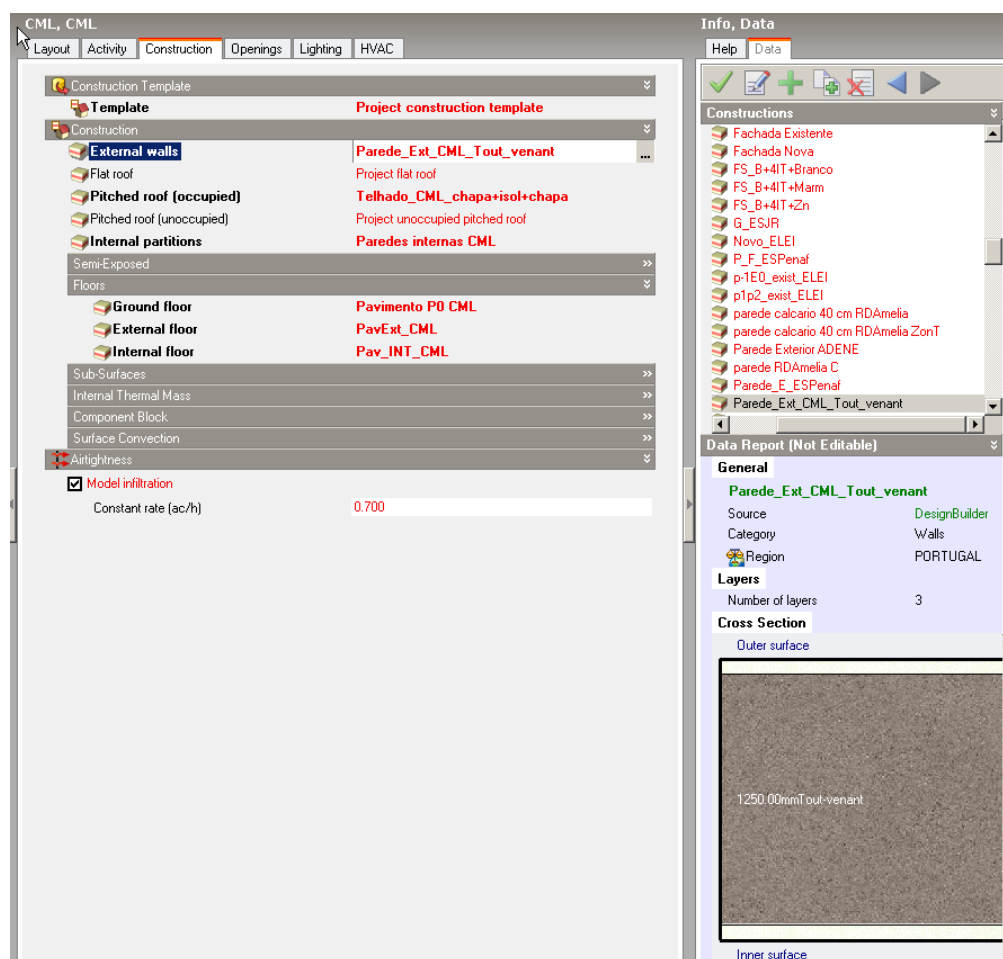


Figura 4.17 – Definição de soluções construtivas no DesignBuilder

O passo seguinte da modelação faz-se já depois de exportar o modelo produzido pelo DesignBuilder para o formato IDF (formato de *input* para o EnergyPlus) e, a partir daí, definem-se os restantes parâmetros e efectuem-se as simulações propriamente ditas em ambiente EnergyPlus, versão 3.1.0.027, a última disponível à data.

O modelo geométrico completo é representado graficamente na Figura 4.18. A imagem mostra:

- O edifício dos Paços do Concelho, representado a cinzento;
- Representação bidimensional, a roxo, dos edifícios da vizinhança relevantes em sombreamento para o edifício dos Paços do Concelho (a nascente e sul).

Na Figura 4.19 apresenta-se o resultado da renderização 3D do modelo efectuada pelo DesignBuilder. As sombras projectadas correspondem às 14h00 do dia 15 de Dezembro.

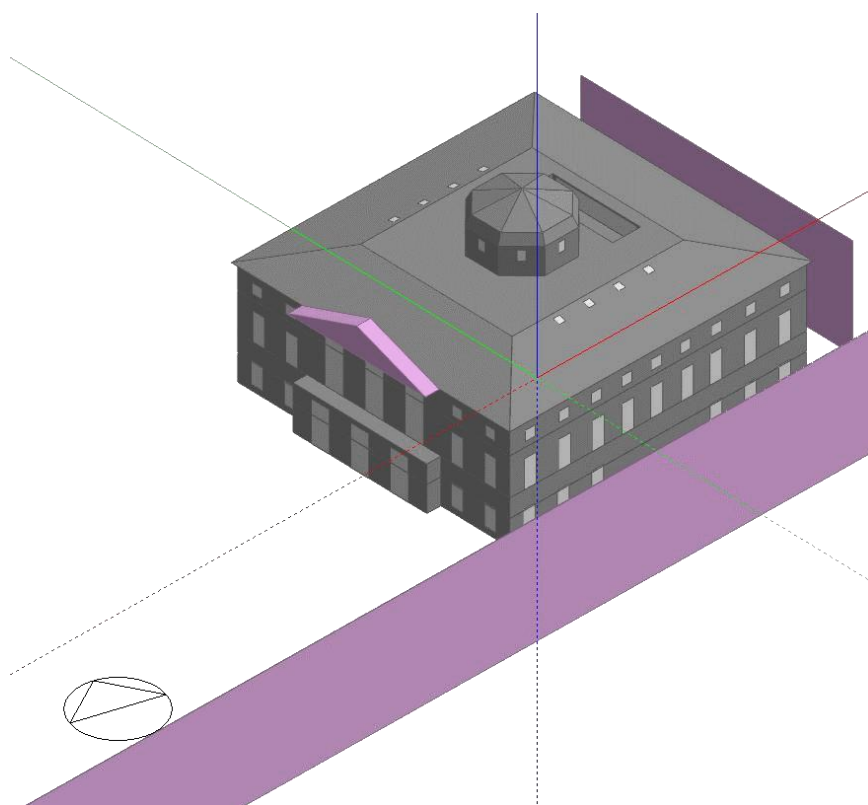


Figura 4.18 – Representação geométrica exterior do modelo de simulação, vista de SW

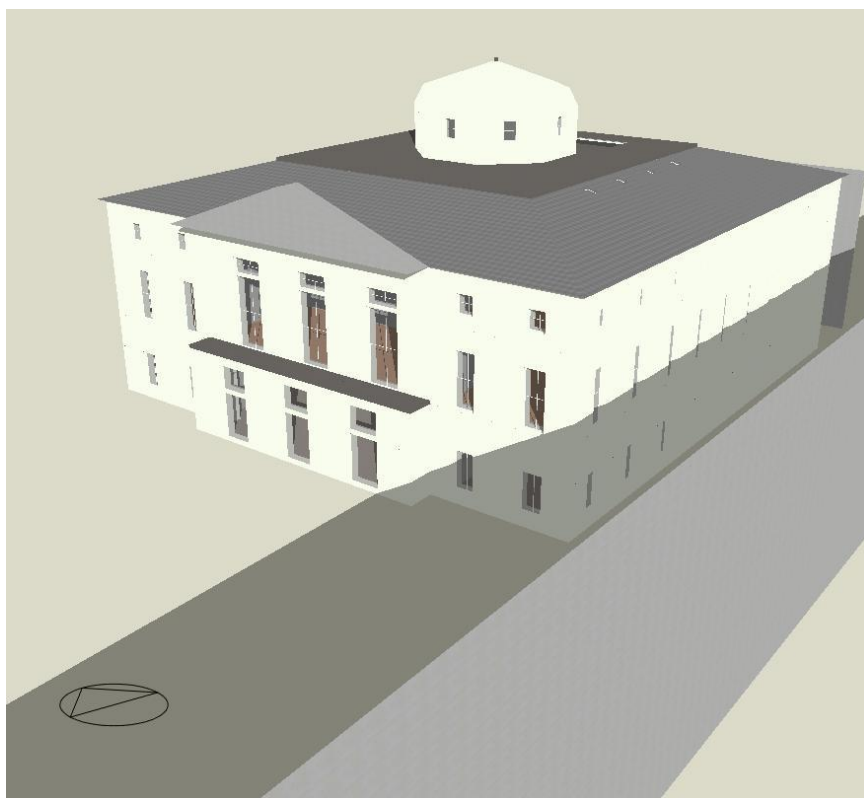


Figura 4.19 – Resultado da renderização 3D do modelo, vista de SW

#### 4.4.2 Zonamento térmico

A par da modelação geométrica, é feito o zonamento térmico, ainda utilizando o DesignBuilder. Este zonamento consiste no agrupamento dos espaços do edifício por zonas térmicas. Considera-se uma *zona térmica* um espaço que, a menos de uma margem de tolerância razoável, se pode encarar homogéneo no que concerne às suas propriedades termodinâmicas (temperatura, humidade, etc.), podendo portanto ser avaliado apenas por um conjunto destas variáveis em cada instante temporal. O zonamento torna-se necessário para tornar menos pesada a simulação do modelo, que de outra forma se tornaria computacionalmente demasiado exigente e sem incremento de precisão justificável. O critério que preside ao zonamento é pois o de criar, sem simplificações grosseiras, o menor número de zonas possível. Foi portanto efectuada uma análise energética cuidada aos espaços do edifício e o seu agrupamento teve em as seguintes características desses espaços:

- Geometria;
- Orientação;
- Configuração dos envidraçados;
- Sombreamentos;
- Climatização e controlo da temperatura;
- Tipo e perfil de utilização;
- Cargas internas.

De acordo com esta metodologia, decorre que:

- Por vezes vários espaços adjacentes e semelhantes em comportamento térmico são agrupados numa única zona;
- Eventualmente, espaços fisicamente separados, isto é, não adjacentes, poderão, mesmo assim, se semelhantes termicamente, ser agrupados na mesma zona;
- Espaços de grandes dimensões que possuam manifestas assimetrias térmicas (por exemplo, por exposição solar ou distribuição de ganhos internos) são fraccionados em mais do que uma zona térmica, fazendo-se a caracterização da adjacência virtual entre zonas de uma maneira aproximativa das trocas de energia que de facto ocorrem no espaço aberto real, nomeadamente as convectivas.

Na Figura 4.20, Figura 4.21, Figura 4.22, Figura 4.23 e Figura 4.24 apresentam-se os zonamentos efectuados por piso.

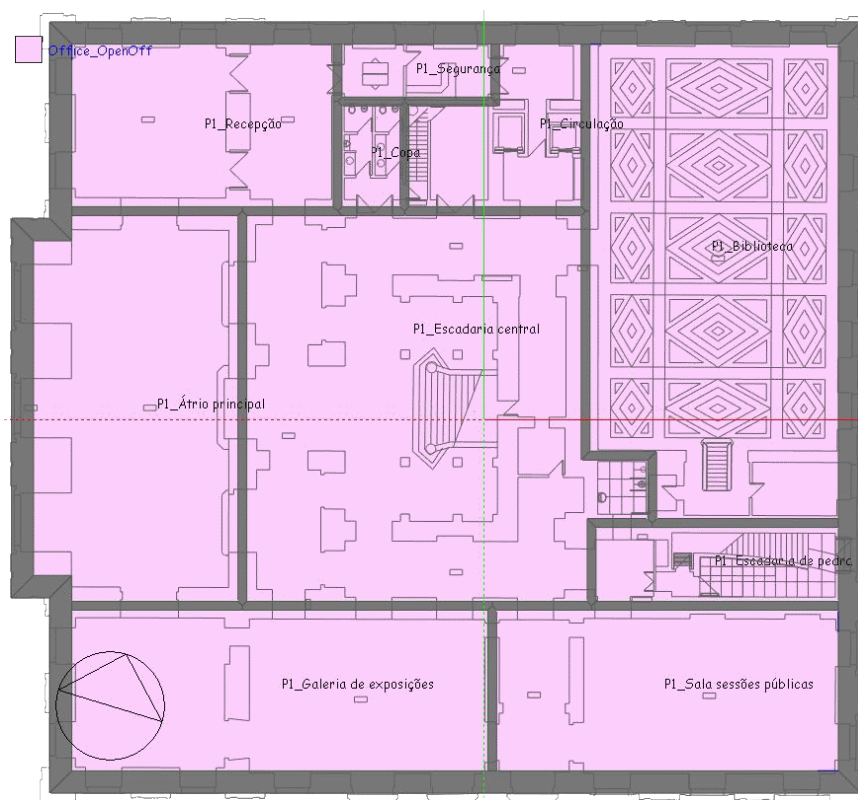


Figura 4.20 – Piso 1 (térreo): zonas térmicas

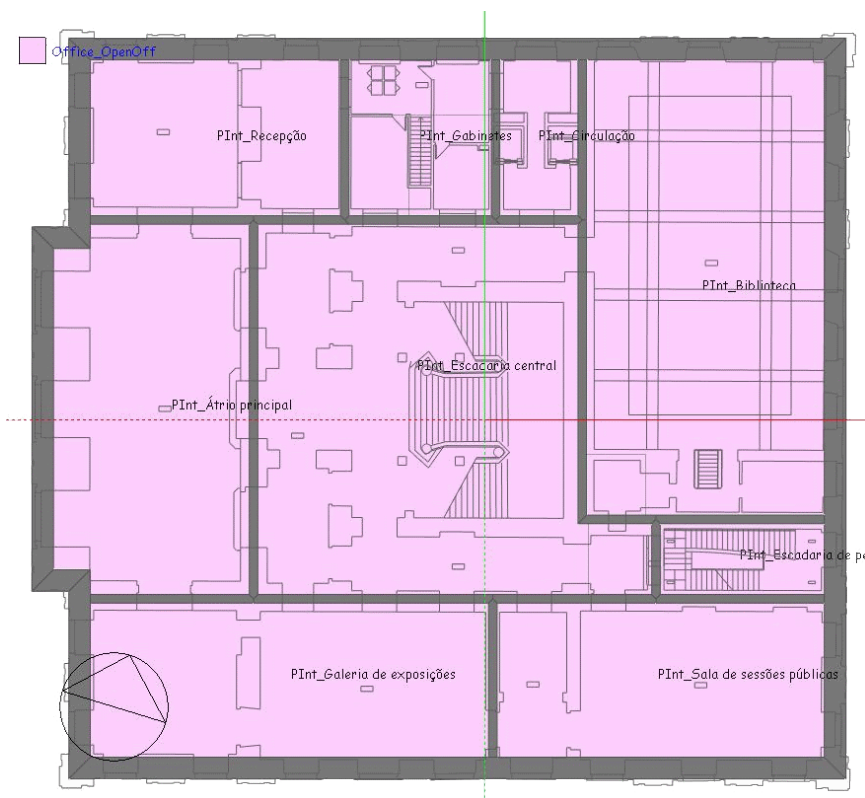


Figura 4.21 -- Piso intermédio: zonas térmicas



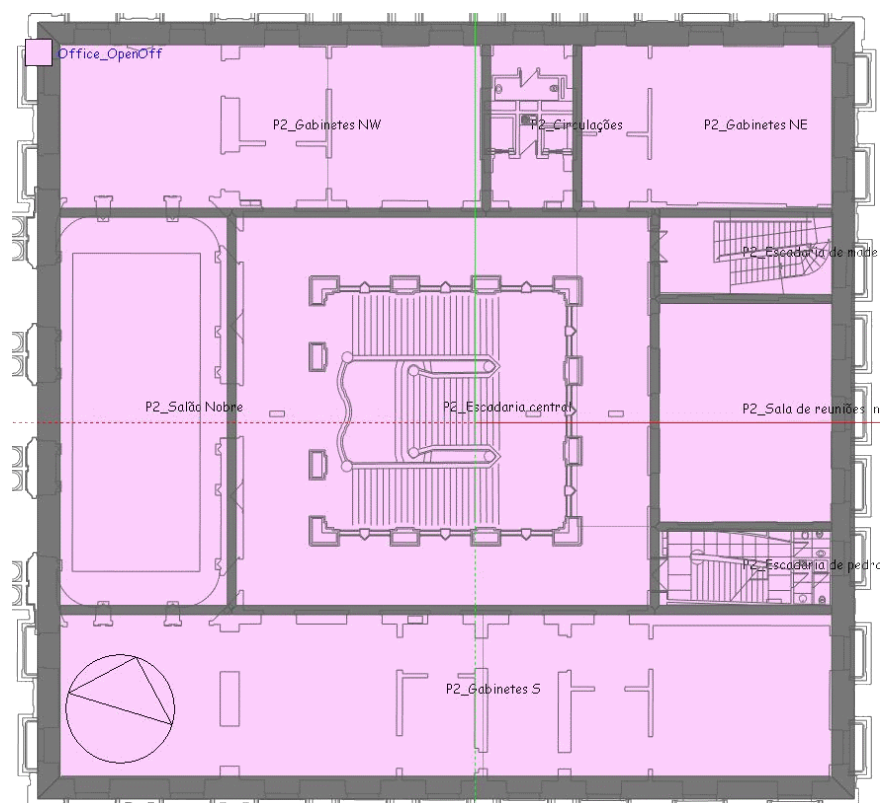


Figura 4.22 – Piso 2 (Nobre): zonas térmicas

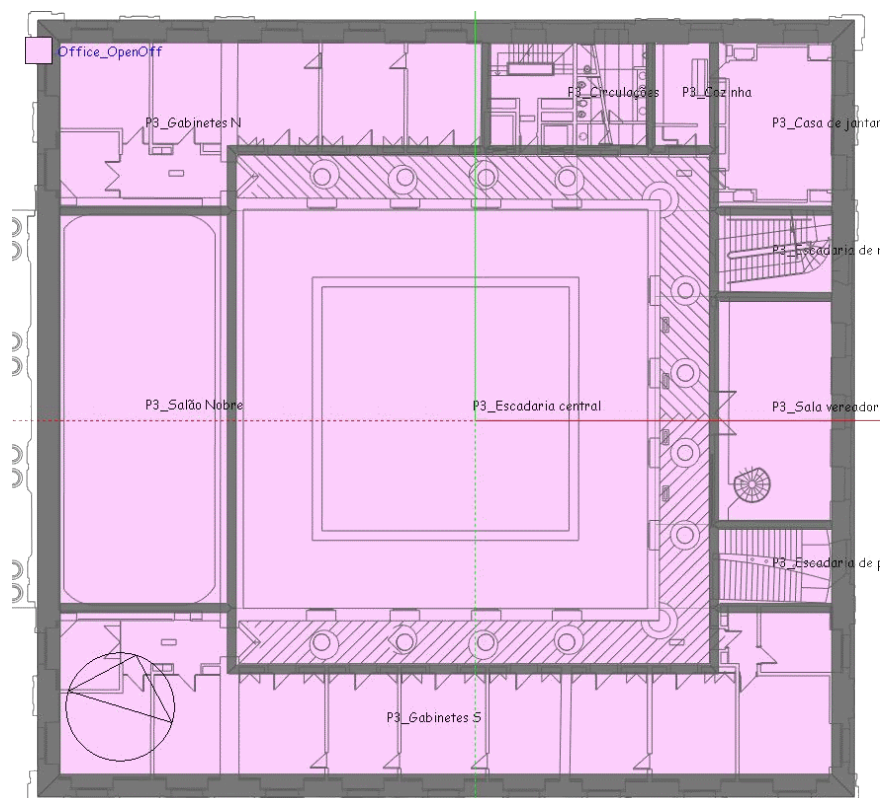


Figura 4.23 – Piso 3: zonas térmicas

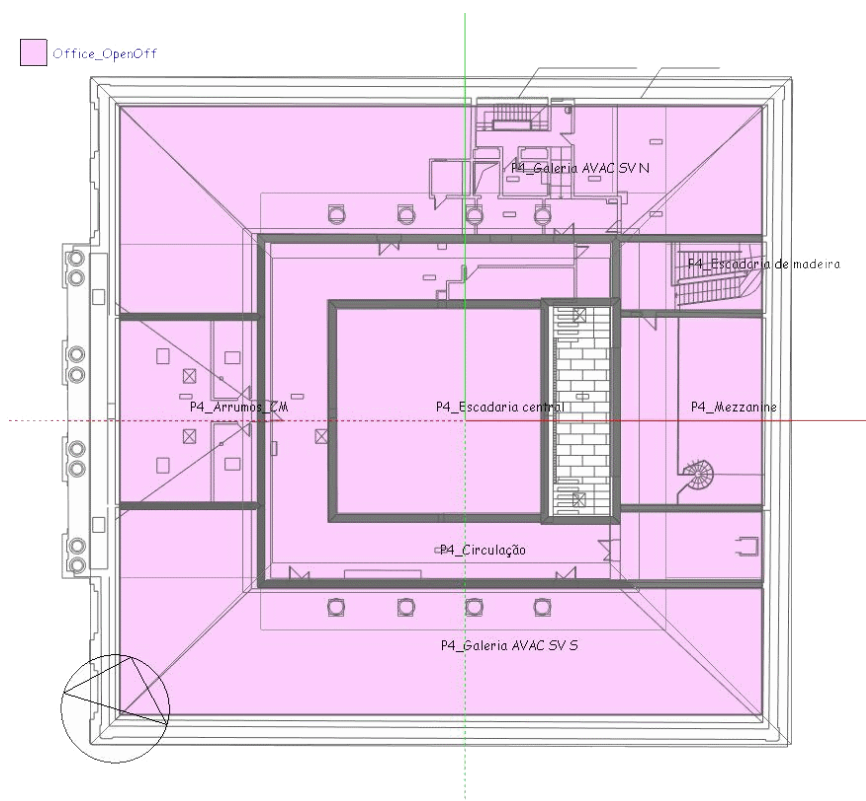


Figura 4.24 – Piso 4 (galerias técnicas): zonas térmicas

Na cúpula do edifício, por cima do poço central, nas deslocações efectuadas verificou-se sensorialmente haver tendência para acumulação de ar quente. Trata-se de um fenómeno de estratificação de ar, expectável em situações de pé direito muito alto, como é o caso. A modelação deste fenómeno foi feita recorrendo à introdução de um vidro virtual a separar a base da cúpula da zona térmica inferior. A este vidro virtual atribuíram-se propriedades de transmissividade lumínica e transmissividade energética por radiação de perto de 100%, bem como um coeficiente de transmissão térmica muito elevado ( $>6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), conseguindo-se desta forma eliminar as trocas convectivas com a zona inferior e exercendo ao mesmo tempo fraca influência no capítulo das trocas radiativas e condutivas. A Figura 4.25 apresenta uma perspectiva da cúpula a partir do interior do edifício em que é possível visualizar o vidro virtual, a cinzento mais escuro.



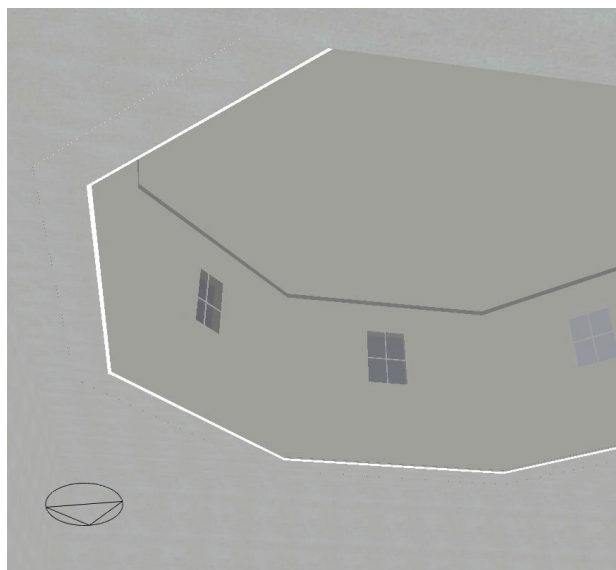


Figura 4.25 – Perspectiva interior da cúpula do edifício

#### 4.4.3 Cargas internas

A avaliação das cargas internas características no funcionamento do edifício, introduzidas como *input* no motor de simulação, foi feita por intermédio de uma contagem dos seguintes elementos em cada zona térmica dos vários pisos:

- Postos de trabalho (ocupação regular);
- Número de visitantes (ocupação variável);
- Equipamento específico: computadores de secretária, computadores portáteis, impressoras, fotocopiadoras, frigoríficos, máquinas de café, fornos microondas, etc.;
- Iluminação: identificação da quantidade, potência e tipo das várias lâmpadas existentes.

Os elementos introduzidos são os que foram já referidos na descrição do edifício, Secção 4.2.

Este levantamento permitiu a criação de objectos de simulação associados a cada uma das zonas, representativos das cargas internas quando associados aos respectivos perfis de utilização. Foi portanto também nesta fase necessário identificar em concreto as horas e duração da permanência dos ocupantes bem como da utilização feita dos equipamentos, e associar estes horários aos objectos respectivos.

#### 4.4.4 Perfis de utilização

O edifício tem um horário de utilização que não segue estritamente o horário de expediente convencional, ou seja, segunda a sexta-feira das 9h00 às 18h00, e os seus vários locais de trabalho apresentam perfis de utilização que variam ligeiramente entre si. Por exemplo, com alguma frequência há gabinetes com ocupação até muito para além desse horário de expediente, conforme o inquérito apurou, o que é determinante no perfil de iluminação criado para os gabinetes, o qual se apresenta a título ilustrativo na Figura 4.26.

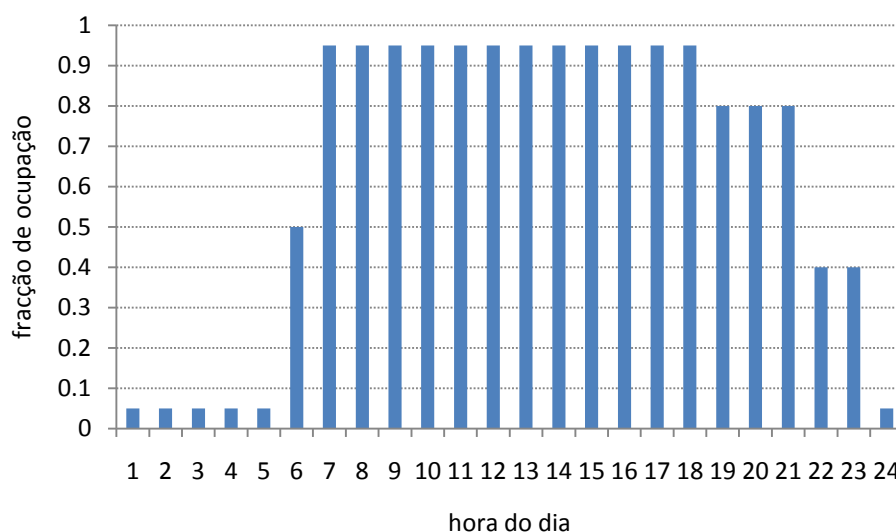


Figura 4.26 – Perfil real de ocupação típica horária dos gabinetes para um dia da semana fora do período de férias

Além disso, existem espaços no edifício que apresentam ocupações não diárias, como a Sala de Reuniões Públicas, com reuniões de carácter mensal, mas que ocasionalmente tem outras utilizações, ou o Salão Nobre, utilizado sobretudo em ocasiões de cerimónia ou conferências de imprensa, as quais se estimaram ocorrer numa base bisemanal.

Tentou-se na definição do perfis de *input* espelhar estas e outras particularidades. Foram igualmente identificados os períodos de férias dos funcionários e adaptados os perfis em função disso. Considerou-se para os gabinetes uma ocupação a 75% nos meses de Julho e Setembro e uma ocupação a 50% no mês de Agosto. Em Anexo apresentam-se em detalhe os perfis de utilização horária considerados.

No que concerne aos equipamentos, para facilitar a sua modelação, foram utilizados somente dois perfis de utilização:

- Um de 24h/dia todos os dias, aplicado aos equipamentos ligados em permanência (servidores, frigoríficos, etc.);
- Outro de 10h/dia, durante o período de utilização do edifício aos dias úteis, aplicado aos equipamentos utilizados tipicamente em horário de expediente (computadores, fotocopiadoras, etc.).

Nos *inputs* criados para EnergyPlus a potência dos equipamentos foi adaptada em função do perfil aplicado. Por exemplo, uma fotocopiadora de 1kW utilizada em média 1h/dia foi modelada como um equipamento de 0,1 kW de potência utilizado 10h/dia.

#### 4.4.5 Infiltração

As zonas interiores do edifício, não sendo estanques, estão sujeitas a infiltração de ar exterior, que varia com o envelope e com o diferencial de pressões entre o interior e o exterior. Tendo em conta aspectos como a permeabilidade ao ar da envolvente por aberturas, frestas existentes, imperfeições na construção, etc., foram estimados valores de infiltração para os espaços do edifício. Os valores utilizados na simulação foram de 1,05 renovações por hora (RPH) para espaços sem inserção de ar novo e de 0,45 RPH no caso dos espaços com inserção de ar novo, e que por isso estão em sobrepressão, fazendo diminuir a infiltração. No caso dos espaços designados como super-ventilados (espaços com uma abertura grande para o exterior em todo o tempo ou em grande parte, como o átrio de entrada ou a galeria AVAC), o valor de RPH utilizado foi de 3,0. Mais sobre a justificação destes valores na Secção 4.4.9.

A título de nota, refira-se que o valor de infiltração não é definido no RSECE, estipulando contudo o RCCTE que a taxa de referência para a renovação do ar, para garantia da qualidade do ar interior, é de 0,6 RPH.

#### 4.4.6 Climatização

A modelação do sistema de climatização descrito obedeceu a algumas condicionantes. Nas simulações, tal como foram efectuadas, o EnergyPlus apenas permite a existência de um objecto de climatização por zona. Assim, nas zonas com sistemas de climatização mistos (por exemplo, ar novo

admitido centralmente por UTAN + unidade evaporadora local a fazer recirculação e tratamento térmico do ar do espaço), foi utilizada uma estratégia constituída pelos seguintes procedimentos:

1. Criou-se uma pequena zona virtual, desacoplada fisicamente do edifício e enterrada. Este desacoplamento foi feito com o objectivo de esta zona não interferir com o edifício, nomeadamente ao nível dos sombreamentos;
2. Definiram-se para as superfícies desta zona virtual as opções de fronteira *No Ground*, *No Sun* e *No Wind* (que determinam a não adjacência da zona ao solo, a não exposição ao Sol e a não exposição ao vento, respectivamente) e introduziu-se na base de dados do programa um material virtual super-isolante, o qual se chamou para a constituição das paredes desta zona, de forma a torná-la o mais independente possível das condições exteriores;
3. Nesta zona, foi definida, recorrendo ao objecto VENTILATION do programa, uma introdução de ar novo equivalente ao caudal de projecto das UTANs do edifício;
4. O tratamento térmico desse ar introduzido foi feito pela inserção de um objecto COMPACT HVAC:ZONE VAV;
5. Por distribuição de ar pré-tratado para as várias zonas térmicas reais (objecto MIXING), foi posteriormente definido o caudal de UTAN real para cada uma dessas zonas.

Desta forma, nessas zonas foi possível o recurso ao objecto FANCOIL, que simula as unidades evaporadoras finais, e, em simultâneo, simular a admissão de ar novo pelas UTANs.

A título de nota, poder-se-ia ter recorrido ao objecto INFILTRATION na introdução de ar novo na zona virtual. Contudo, no nosso caso em particular, este foi preterido a favor do objecto VENTILATION, pelo facto de este considerar o consumo e a carga térmica dos ventiladores envolvidos (que entraram nas contabilizações).

No EnergyPlus, na definição das propriedades do objecto SYSTEM:VAV, o qual simula a UTAN, é necessário definir o valor do diferencial de pressão nos ventiladores, o qual se calcula através da expressão

$$Pot = \frac{\dot{V} \times \Delta p}{\eta} \quad (4.1)$$

Sendo:

Pot – potência do ventilador;

$\dot{V}$  – caudal de ventilação em m<sup>3</sup>/s;

$\Delta p$  – diferencial de pressão em Pa;

$\eta$  – rendimento do ventilador.

Para o caudal de projecto das UTANs, que é de  $2,42 \text{ m}^3/\text{s}$  (caudal total para todas as zonas proveniente das duas UTANs), temos assim um diferencial de pressão nos ventiladores de 1190 Pa (considerando uma eficiência no equipamento de 0,6 e uma potência dos ventiladores, consultada em catálogo, de 4,8 kW).

De referir ainda que o sistema que simula a UTAN na zona virtual, modelado na verdade, conforme já referido, como uma UTA a fazer recircular e a tratar termicamente o ar novo introduzido nessa zona por VENTILATION, foi regulado para um caudal de 1,5 vezes o caudal de ar novo total necessário para as zonas, de forma a garantir que os valores de temperatura obtidos estão dentro da gama de projecto, a qual se modelou como sendo de  $18^\circ\text{C}$  a  $22^\circ\text{C}$  (para condições reais). A razão desta estratégia é porque se verificou que, utilizando um factor de 1,0, a temperatura do ar insuflado para os espaços não estava sempre dentro da gama definida.

Foram ainda introduzidos na simulação os objectos CHILLER e BOILER para assegurar respectivamente toda a produção de frio e de calor, quer para a UTAN virtual quer para as FANCOILS interiores.

Para além do pré-tratamento do ar novo, a temperatura local é regulada através as unidades evaporadoras, cujo controlo é manual pelos utilizadores do espaço. Foi considerado nas simulações reais que o controlo dos utilizadores é no sentido de manter uma gama de temperaturas  $21\text{-}25^\circ\text{C}$ , tendo sido a simulação efectuada com um termóstato tipo dual-band nesse intervalo de temperatura, activo entre as 8h00 e as 20h00 de segunda a sexta-feira.

#### 4.4.7 *Outputs da simulação*

No âmbito da Certificação, foram pedidos e analisados numa base horária os seguintes resultados da simulação dinâmica:

- Temperatura média do ar exterior (proveniente do ficheiro climático de referência);
- Temperatura média do ar nas zonas térmicas;
- Infiltração de ar nas zonas térmicas;
- Consumos eléctricos da aparelhagem eléctrica (não inclui AVAC) – estes consumos são determinados pela potência instalada e pelos perfis nominais considerados;
- Consumos eléctricos para iluminação – na situação actual do edifício, em que não existe controlo dos níveis de iluminação artificial pelos níveis de luz natural, os consumos aqui obtidos são função da potência instalada e do perfis considerados na simulação;
- Consumos eléctricos auxiliares de AVAC – bombas, ventiladores, etc.;

- Necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento – a serem convertidas em consumos eléctricos, por intermédio do COP de arrefecimento e aquecimento do sistema.

#### 4.4.8 Outros consumos

Para além dos consumos de energia para iluminação, equipamento, ventilação e climatização dos espaços, e tendo em conta a informação recolhida, referida em secções anteriores, por levantamento no local e através de inquérito, consideram-se ainda os seguintes perfis para consumos anuais:

- Iluminação Exterior – 1200 W, activos esporadicamente e por pouco tempo (apenas em ocasiões cerimoniais, aquando de deslocações nocturnas à cobertura) – considerou-se uma utilização de uma hora mensalmente;
- Elevadores – modelaram-se os dois existentes considerando uma potência unitária de 6 kW e um funcionamento diário médio de segunda a sexta-feira de duas horas.

#### 4.4.9 Calibração do modelo

Por calibração do modelo entende-se o processo iterativo de ajuste que conduz a que os resultados da simulação sejam próximos dos resultados reais. No caso em apreço (em que não existem medições directas de parâmetros tais como temperaturas das zonas, consumos e eficiência AVAC), as grandezas avaliadas na calibração do modelo são os consumos globais de energia eléctrica. Assim, no processo de calibração são comparados os consumos históricos registados pela facturação energética com os consumos previstos pela simulação para o modelo produzido. O processo pode levar a uma série de reajustes de vários parâmetros do modelo.

Para além dos consumos de energia eléctrica da iluminação e dos vários equipamentos existentes, referidos em secções anteriores, as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento previstas por simulação são convertidas em consumos de energia final (electricidade) através da eficiência dos equipamentos envolvidos nos processos de produção térmica. No entanto, as eficiências nominais dos equipamentos, que constam nos catálogos, não são alcançadas pelo sistema real. Por esta razão, também se ajustam as eficiências efectivas médias associadas a estes processos.

Naturalmente, uma concordância total dos valores decorrentes da simulação com os valores médios dos consumos efectivamente registados é altamente improvável por vários motivos, destacando-se os seguintes:

- Os dados de facturação correspondem não à situação actual, sobre a qual incidiu a simulação, mas a um período anterior, podendo no entanto ter havido algumas alterações nos hábitos de utilização do edifício, ocupação, cargas internas, etc.;
- Os dados climáticos utilizados na simulação são representativos de um ano climático típico, sendo representativos a médio prazo (tipicamente, o ano climático tipo é caracterizado com base em séries temporais climáticas com uma extensão de 30 anos) (WMO, 2009); no entanto, o período sobre o qual incide a auditoria energética é a essa escala demasiado curto (no caso só três anos) e as condições climáticas desses anos podem ter sido razoavelmente diferentes das reportadas no ficheiro climático;
- A simulação computacional é sempre um método de cálculo aproximado;
- A recolha e síntese de informação para construção do modelo é sujeita a falhas e simplificações;
- Um modelo é por definição uma representação da realidade e apresenta, portanto, limitações e incorrecções.

Assim, no âmbito deste trabalho, e ao abrigo do RSECE, considera-se que um modelo está bem calibrado se os resultados globais para o ano decorrentes da simulação indicarem consumos de energia num intervalo de  $\pm 10\%$  dos consumos registados pela facturação. Embora regulamentarmente a exigência neste domínio seja apenas esta, adoptou-se como exigência adicional os consumos mensais estarem num intervalo de  $\pm 15\%$  dos consumos médios mensais registados pela facturação. Note-se que as diferenças de consumo anual de electricidade entre os anos de facturação que foram considerados (os três últimos) são de 10% e 13% em relação ao ano de 2006, confirmando a esperada variabilidade de consumos energéticos.

Os resultados obtidos nas simulações iniciais apontavam para consumos globais baixos, quando comparados com a facturação total. A diferença, em todos os meses do ano, era assinalável, sempre superior a 10%. Foi assim, junto do encarregado técnico do edifício, efectuado um levantamento mais rigoroso no que respeita aos perfis de utilização do edifício pelos ocupantes. Este aperfeiçoamento permitiu concluir que os perfis de utilização e iluminação dos gabinetes se encontravam subestimados, na medida em que o horário de utilização destes espaços, como se concluiu, ultrapassa por vezes largamente o horário de expediente normal. Esta situação, mesmo tendo carácter eventual, determina sempre o funcionamento da iluminação para esses espaços até horas mais tardias do que se supunha inicialmente. Foi portanto neste capítulo efectuado um ajuste nos perfis de *input* de ocupação e iluminação criados para os gabinetes, estendendo-os de modo a reflectirem de uma forma mais fiel a realidade (perfis consultáveis em Anexo). Esta medida foi suficiente para colocar os consumos globais da simulação a satisfazer a primeira exigência.

Seguidamente, constatou-se que as necessidades de aquecimento se apresentavam baixas, quando comparadas com os consumos de electricidade para os meses frios registados em facturação. Foram assim efectuados os seguintes ajustes, que podem justificar maiores consumos de energia para aquecimento:

- *Setpoint* de temperatura do ar no período de aquecimento – considerou-se que durante o período de aquecimento a temperatura mínima das zonas climatizadas seria de 21 °C, e não 20 °C, como inicialmente se estava a assumir;
- Infiltrações – aumento de 50% relativamente aos níveis de infiltração considerados inicialmente.

Considerou-se que a eficiência efectiva do sistema AVAC, na sua produção térmica de calor e frio, é de 1,5. Este valor corresponde à eficiência efectiva global dos sistemas de aquecimento e arrefecimento, abrangendo a eficiência de produção e distribuição da energia.

O COP de sistema, para aquecimento ou arrefecimento, pretende descrever a prestação global efectiva dos processos de aquecimento e arrefecimento. Neste caso, esses processos baseiam-se em duas componentes: a entrega de ar novo pré-tratado e a utilização de unidades evaporadoras terminais para correcção térmica dos espaços. Assim, o COP global apresentado combina a produção térmica (bomba de calor e sistema VRV, com as respectivas eficiências médias), a distribuição térmica (rede de ar novo e de fluido frigorigéneo) e a difusão no espaço. Note-se que na realidade os COPs dos processos de aquecimento e de arrefecimento do sistema de tratamento de ar novo e do sistema VRV podem ser diferentes. Contudo, na calibração do modelo de simulação optou-se por considerar para os dois sistemas um valor de COP idêntico, visto não dispormos de informação que permitisse avaliar e quantificar estas diferenças.

Tendo em conta que os COPs de produção térmica nominais dos equipamentos são da ordem de 2,5 (tanto para aquecimento como para arrefecimento), os valores apurados para os COPs globais (da ordem de 1,5) representam uma perda de eficiência da ordem de 40%. Esta degradação global de eficiência está relacionada com perdas térmicas nas tubagens de ar que e de líquido frigorigéneo e com perdas relacionados com o desgaste dos órgãos internos dos equipamentos de produção, como compressores, válvulas, etc.

No final do processo de calibração, para o ano, os consumos globais previstos pela simulação são os que constam na Tabela 4.6.



Tabela 4.6 – Consumos globais previstos pela simulação e consumos facturados

Simulação	544549 kWh
Facturas	558986 kWh
Diferença:	2,58%

A Figura 4.27 mostra a evolução ao longo dos meses dos consumos previstos pela simulação e dos consumos eléctricos facturados ao edifício.

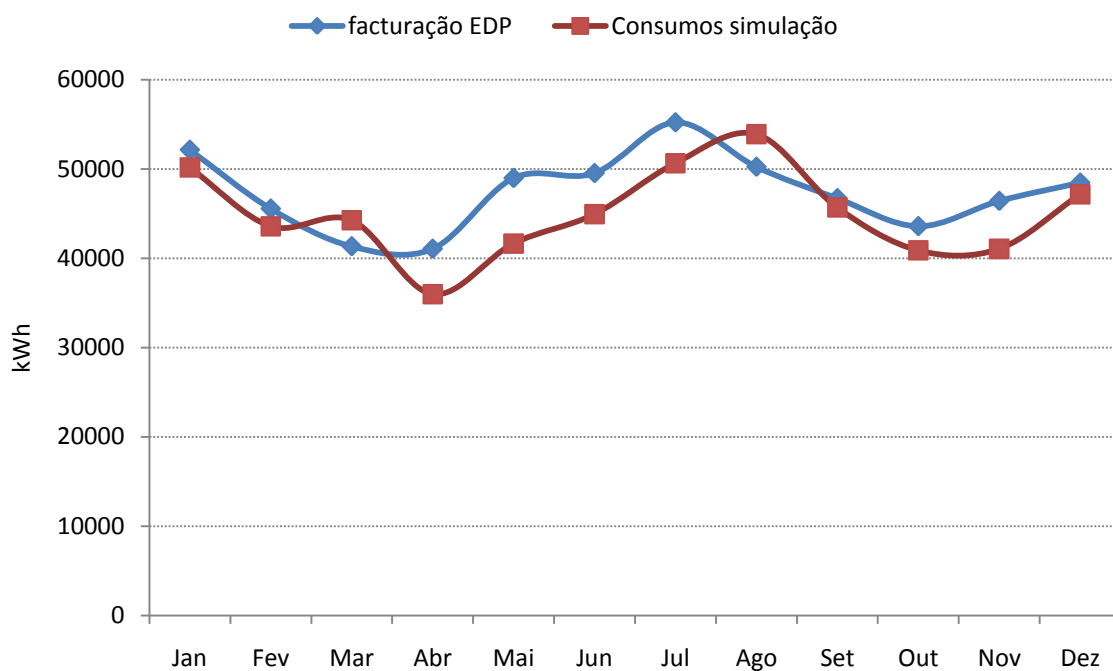


Figura 4.27 – Evolução ao longo do ano dos consumos previstos pela simulação e dos consumos eléctricos facturados

As diferenças mensais resumem-se na Figura 4.28, que permite com mais exactidão aferir o cumprimento do segundo critério.

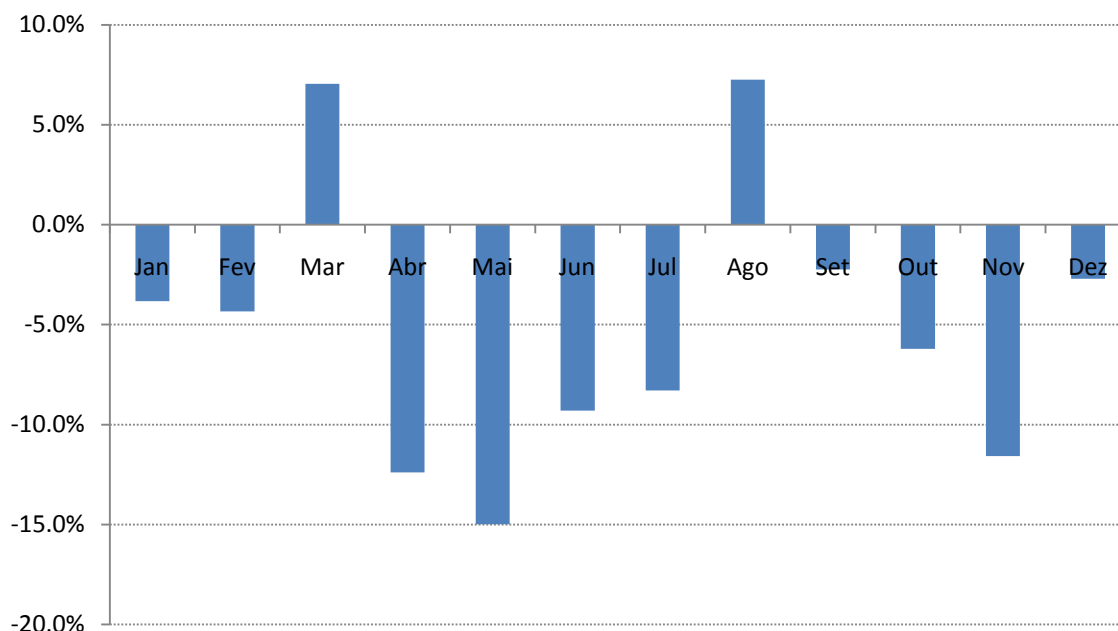


Figura 4.28 – Diferenças percentuais mensais entre os consumos previstos em simulação e os consumos facturados

Como está patente, as diferenças não excedem em nenhum mês os 15%. Assim, as duas exigências adoptadas estão satisfeitas, podendo o modelo considerar-se como fidedigno da realidade.

#### 4.4.10 Resultados da simulação

A Tabela 4.7 apresenta os valores de consumo eléctrico desagregados por utilização que se obtiveram na simulação dinâmica em condições reais de utilização depois de calibrado o modelo.

Os consumos de energia primária, em quilograma equivalente de petróleo, kgep, obtiveram-se utilizando, tal como definido no RSECE, Artigo 18º, o factor de conversão

$$F_{pu} = 0,29 \text{ kgep/kWh}$$

Tabela 4.7 – Consumos anuais por utilização obtidos na simulação em condições reais

	kWh	kgep	% do total
Iluminação	297501	86275	54,6%
Equipamento eléctrico	57132	16568	10,5%
Consumos eléctricos para assegurar pedidos térmicos de aquecimento	56301	16327	10,3%
Consumos eléctricos para assegurar pedidos térmicos de arrefecimento	83945	24344	15,4%
FANs VCs aquecimento	12729	3691	2,3%
FANs VCs arrefecimento	7750	2247	1,4%
FAN UTAN aquecimento	7594	2202	1,4%
FAN UTAN arrefecimento	5615	1628	1,0%
FAN UTAN ar novo (à temperatura exterior)	3014	874	0,6%
Elevadores (2 de 6kW cada, 2h/dia de funcionamento)	6257	1815	1,1%
Bombas de circulação	6711	1946	0,3%
total:	544549	157919	100,00%

Estes consumos, graficamente, tomam o aspecto que a Figura 4.29 evidencia.

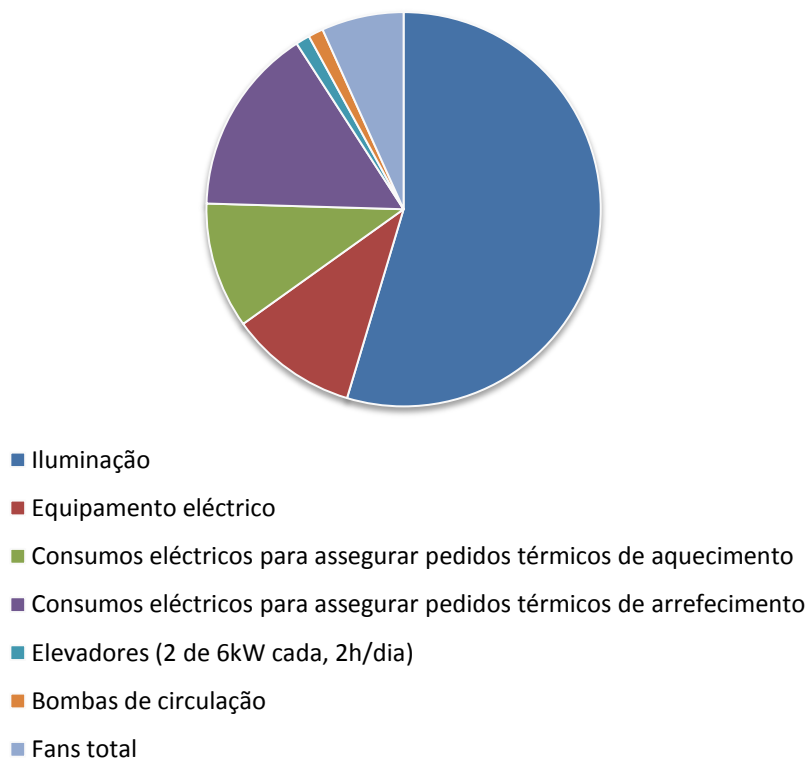


Figura 4.29 – Gráfico dos consumos por utilização anuais obtidos por simulação em condições reais

A partir do valor anual dos consumos previstos por simulação dinâmica, pode-se calcular o valor de  $IEE_{real, simulação}$ , ou seja, conforme já referido na Secção 2.3.2, o IEE real obtido por simulação dinâmica utilizando os perfis reais determinados pela auditoria, com correcção climática (ver mais à frente, Secção 4.5.1). Assim, a partir da equação (4.2),

$$IEE_{real, simulação} = 29,3 \frac{kgep}{m^2 \cdot ano}$$

Os perfis anuais de pedidos de calor e frio para o edifício são apresentados na Figura 4.30.

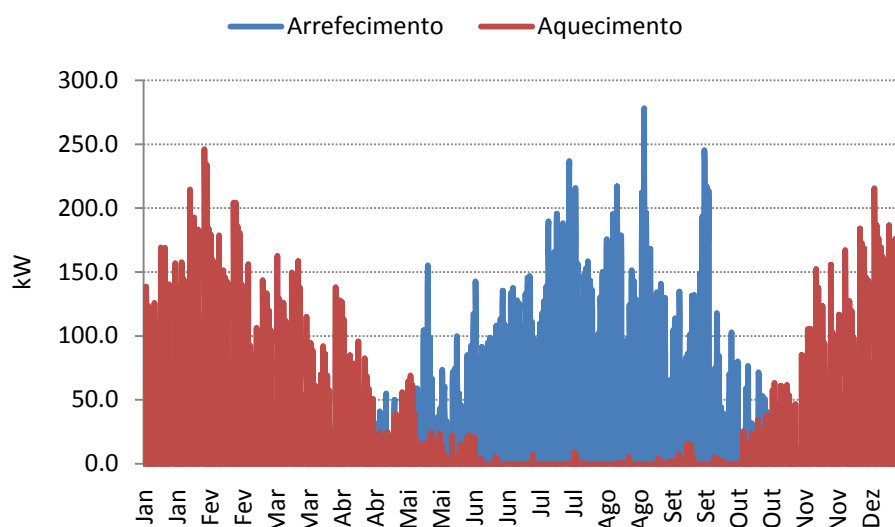


Figura 4.30 – Perfil das cargas térmicas anuais

Na Figura 4.31 apresentam-se os perfis para uma semana de Abril (meia estação), com pedidos simultâneos de frio e calor em zonas diferentes do edifício. Os dias 22 e 23 correspondem a um fim-de-semana, em que o sistema AVAC se encontra desligado. Note-se o crescendo nas cargas de arrefecimento que existe entre os dias, típico de época de transição de período de aquecimento para período de arrefecimento. Note-se igualmente que os pedidos de calor ocorrem no início do dia, após arrefecimento nocturno dos espaços, e que os de frio têm o seu pico no período da tarde, quando o edifício aqueceu por via da climatização (até aos 21°C), das suas cargas internas, da subida da temperatura exterior e dos ganhos solares.

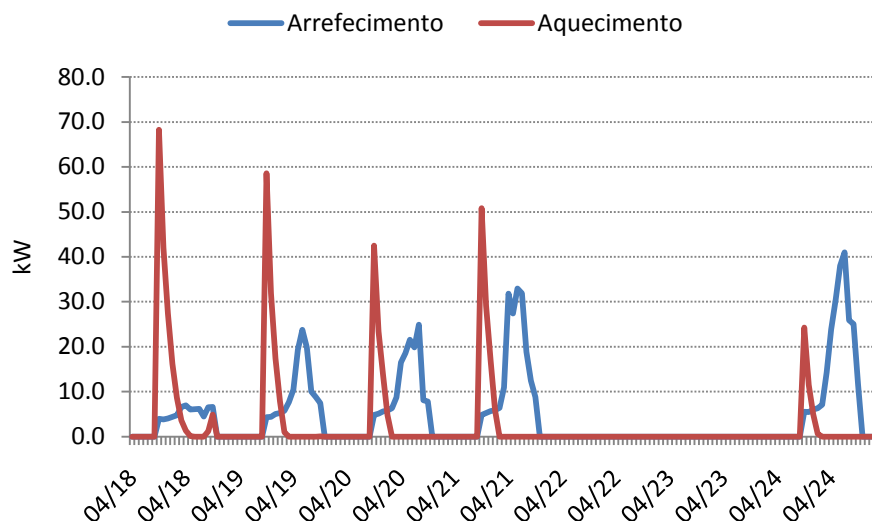


Figura 4.31 – Perfis diários das cargas térmicas para uma semana na meia estação

Os consumos de iluminação, por espaços do edifício, apresentam-se na Figura 4.32.

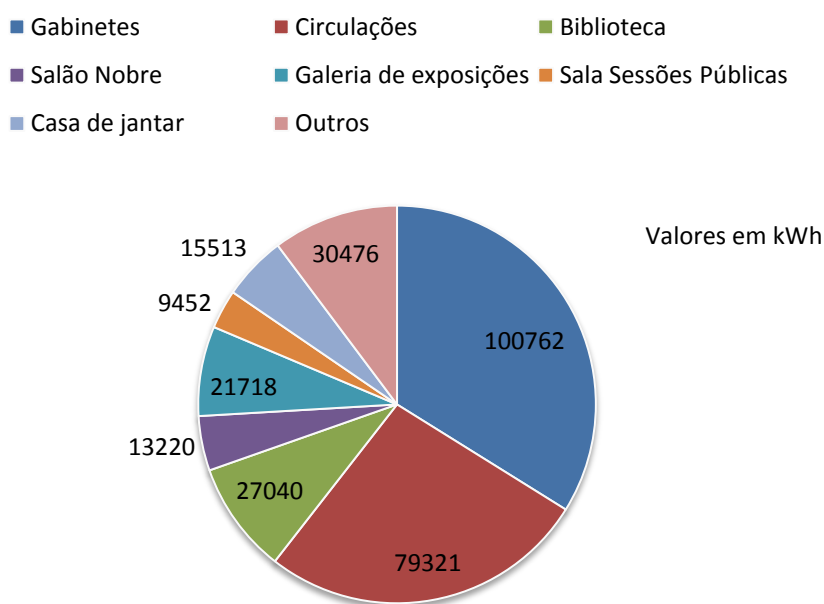


Figura 4.32 – Consumos reais de iluminação por espaço do edifício obtidos por simulação

Os resultados anteriores permitem identificar a iluminação como o principal responsável, de longe, pelo total dos consumos eléctricos verificados em todo o edifício (aproximadamente 54,6%). Dentro da iluminação, existe uma clara predominância da iluminação dos espaços de trabalho (os gabinetes

são responsáveis por uma fatia de 33,9% desses consumos) e das circulações (com um total de 26,7%). Os consumos de AVAC estão dentro da gama esperada, com 32,5% dos consumos globais.

#### **4.5 Simulação em condições nominais**

Nesta secção apresenta-se a metodologia utilizada nas simulações em condições nominais, bem como o cálculo de vários parâmetros e critérios relevantes, particularmente para o caso de um edifício existente.

O RSECE pretende analisar a prestação energética de um edifício que dispõe de determinadas características (de construção, de iluminação, de climatização, etc.) baseando-se tanto quanto possível em critérios independentes das condições específicas de utilização desse edifício. São então definidas no regulamento *condições nominais de utilização*, as quais não são mais que perfis normalizados de ocupação, iluminação e equipamento, de acordo com a tipologia. O IEE permite pois avaliar a eficiência energética de um edifício, comparando os consumos deste edifício *em condições nominais de utilização* com valores de referência específicos para o tipo de actividade desenvolvida (tipologia), permitindo por essa via uma comparação rápida de eficiência energética entre edifícios que podem ter padrões de utilização muito diferentes e que, por isso, de outra forma seriam de difícil comparação.

O IEE é função de todos os consumos de energia do edifício, incluindo equipamentos, iluminação, ventilação e energia dispendida nos processos de aquecimento e arrefecimento, bem como iluminação exterior. Para obtenção dos consumos de energia em condições nominais utiliza-se o modelo de simulação anteriormente desenvolvido, ao qual se aplicam as referidas condições nominais de utilização.

##### **4.5.1 Factores de correcção climática**

Os consumos nominais de referência foram calculados tendo em conta determinadas condições climáticas de Verão e de Inverno. Assim como as condições de utilização do edifício são normalizadas, conforme já vimos, também o é a variação climática entre locais. Assim, os consumos para os processos de aquecimento e arrefecimento considerados no cálculo do IEE são normalizados através dos factores de correcção climática de Inverno e Verão. O intuito é anular os efeitos advindos da variação do clima ao longo do país, que de outro modo existiriam e se reflectiriam no Indicador de Eficiência Energética.

O IEE é dado pela soma de três parcelas:

$$IEE = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p} \quad (4.2)$$

Sendo:

$IEE_I$  (Inverno) – parcela associada aos processos de aquecimento (kgep/m<sup>2</sup>ano);

$IEE_V$  (Verão) – parcela associada aos processos de arrefecimento (kgep/m<sup>2</sup>ano);

$Q_{out}$  – consumo de energia não ligado aos processos de aquecimento e arrefecimento (kgep/ano);

$A_p$  – área útil de pavimento (m<sup>2</sup>).

As parcelas climáticas, por sua vez, são afectadas de factores de correcção climática:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times F_{CI} \quad (4.3)$$

$$IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_p} \times F_{CV} \quad (4.4)$$

Sendo:

$Q_{aq}$  – consumo de energia de aquecimento (kgep/ano);

$F_{CI}$  – factor de correcção do consumo de energia de aquecimento;

$Q_{arr}$  – consumo de energia de arrefecimento;

$F_{CV}$  – factor de correcção do consumo de energia de arrefecimento.

Os factores de correcção climática de aquecimento e arrefecimento são calculados recorrendo a grandezas definidas no RCCTE,  $N_{I1}$ ,  $N_{Ii}$ ,  $N_{V1}$ ,  $N_{Vi}$ , sendo respectivamente:

$$F_{CI} = \frac{N_{I1}}{N_{Ii}} \quad (4.5)$$

$$F_{CV} = \frac{N_{V1}}{N_{Vi}} \quad (4.6)$$

Com:

$N_{II}$  – necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência (II) (kgep/m<sup>2</sup>ano);

$N_{Ii}$  – necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado o edifício (Ii) (kgep/m<sup>2</sup>ano);

$N_{V1}$  – necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência (V1) (kgep/m<sup>2</sup>ano);

$N_{Vi}$  – necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado o edifício (Vi) (kgep/m<sup>2</sup>ano).

O RCCTE determina que:

- As necessidades máximas de aquecimento permitidas são definidas em função do Factor de Forma do edifício (FF) e dos Graus-Dia de aquecimento (GD), sendo no caso FF=0,15, dado pela expressão

$$FF = \frac{A_{ext} + \sum(\tau A_{int})_i}{V} \quad (4.7)$$

Com:

- $A_{ext}$  a área da envolvente exterior com exigências térmicas, 5144 m<sup>2</sup>;
- $\sum(\tau A_{int})=1688$  m<sup>2</sup>, sendo  $A_{int}$  a área das envolventes interiores com exigências térmicas e  $\tau$  um coeficiente tabelado em função do tipo de espaço não útil com que essas envolventes confrontam;
- $V$  o volume interno do edifício, 44590 m<sup>3</sup>;
- Graus-Dia de aquecimento na zona de referência – 1000;
- Graus-Dia de aquecimento na zona de implantação do edifício (Concelho de Lisboa) – 1190;
- As necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE são definidas em função da zona climática de arrefecimento, quer de referência quer do edifício em questão.



Para o factor de forma apurado, temos que

$$N_{li} = 4,5 + 0,0395GD \quad (4.8)$$

A Tabela 4.8 apresenta os valores que resultam desta metodologia:

**Tabela 4.8 – Necessidades nominais máximas de aquecimento e arrefecimento previstas pelo RCCTE para o edifício**

Aquecimento	Zona de Referência: I1 Norte, GD=1000	44 kWh/m <sup>2</sup> ano
	Zona de implantação: I1 (Lisboa), GD=1230	51,5 kWh/m <sup>2</sup> ano
Arrefecimento	Zona de Referência: V1 Norte	16 kWh/m <sup>2</sup> ano
	Zona de implantação: V2 Sul (Lisboa)	32 kWh/m <sup>2</sup> ano

Para a geometria em causa e para o Concelho de Lisboa, os factores de correcção climática tomam os valores que constam na Tabela 4.9:

**Tabela 4.9 – Factores de correcção climática considerados**

F <sub>CI</sub> (Inverno)	0.85
F <sub>CV</sub> (Verão)	0.50

#### 4.5.2 Condições nominais

A tipologia do edifício dos Paços do Concelho da CML é, para todas as suas áreas, a de *Tribunais, ministérios e câmaras*. Esta tipologia define:

- Que a ocupação nominal do edifício é de 15 m<sup>2</sup>/ocupante;
- Que a densidade de equipamento é de 5 W/m<sup>2</sup>;
- Que o funcionamento da iluminação exterior é de 5400 h/ano;
- Os perfis nominais de ocupação do edifício, de iluminação e utilização dos equipamentos (em Anexo).

Note-se que o RSECE não define a quantidade nominal de iluminação, pelo que na simulação em condições nominais se considerou a que existe na realidade.

As condições nominais de utilização definidas no RSECE encontram-se comparadas com as condições reais na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Comparação entre valores de condições nominais e condições reais

	Condições nominais	Condições reais médias
Ocupação (m <sup>2</sup> /ocupante)	15	25,8
Equipamento (W/m <sup>2</sup> )	5	5,5

Como se verifica, os ganhos internos decorrentes da ocupação em condições nominais são substancialmente superiores aos das condições reais. Já no que toca ao equipamento, são inferiores, mas marginalmente.

No que respeita ao ar novo, as condições nominais implicam a verificação dos caudais mínimos definidos no Anexo VI do RSECE. Cada espaço do edifício foi classificado com um tipo de actividade e utilização RSECE e a simulação foi efectuada considerando o caudal máximo apurado (entre os valores de caudal obtidos em função da área e em função dos ocupantes).

Quanto ao período de funcionamento da climatização nas zonas com ar tratado, correspondeu ao período de funcionamento do edifício (ADENE, 2008).

A Tabela 4.11 apresenta os valores de ar novo reais e nominais para os espaços com requisitos RSECE nesse capítulo.

Tabela 4.11 – Caudais de ar novo

Zonas	Caudal ar novo (m <sup>3</sup> /h)		# ocupantes	Cumpre RSECE?
	Real	RSECE		
P1_Biblioteca	1600	150	5	sim
P1_Sala_sesoes_publicas	1500	2820	94	não
P1_Recepcao	0	1269	4	não
P1_Seguranca	0	149	4	não
P1_Copa	0	60	2	não
P1_Galeria_de_exposicoes	0	560	6	não
PInt_Gabinetes	450	242	4	sim
P2_Gabinetes_NE	450	538	3	não
P2_Sala_de_reuniões_informais	800	4176	4	não
P2_Gabinetes_S	400	1495	7	não
P2_Salao_Nobre	0	4150	30	não
P2_Gabinetes_NW	700	896	5	não
P2_Circulacoes	150	60	2	sim
P3_Casa_de_jantar	0	210	6	não
P3_Sala_vereadores	800	4551	6	não
P3_Gabinetes_S	1100	1339	11	não
P3_Gabinetes_N	750	649	12	sim
P3_Cozinha	0	60	2	não
P4_Arrumos_CM	0	511	2	não

#### 4.5.3 Resultados

A simulação do edifício em condições nominais produziu os resultados que se apresentam na Tabela 4.12 (para efeitos comparativos, incluem-se também os consumos obtidos na simulação em condições reais).

Tabela 4.12 – Consumos eléctricos: resultados de simulação em condições nominais

	Consumos eléctricos reais (kWh/ano)	Consumos eléctricos <u>nominais</u> (kWh/ano)	Diferença %
Iluminação	297501	182799	-38,6%
Equipamento eléctrico	57132	51229	-10,3%
Consumos eléctricos para assegurar pedidos térmicos de aquecimento	56301	64992	+15,4%
Consumos eléctricos para assegurar pedidos térmicos de arrefecimento	83945	75648	-9,9%
FANs	33688	50544	+50,0%
Elevadores (2 de 6kW cada, 2h/dia de funcionamento)	6257	6257	0,0%
Bombas de circulação	6711	6195	-7,7%
total:	544549	444802	-18,3%

Aspectos a ressaltar:

- Os elevadores apresentam os mesmos consumos em ambos os casos visto em ambas as simulações serem simulados com as condições reais de utilização, conforme o regulamento prevê. Para apuramento do IEE, os seus consumos são englobados na parcela  $Q_{out}$ ;
- Os consumos nominais de iluminação são inferiores aos reais em virtude de os perfis de utilização dos primeiros serem mais moderados que os dos segundos (recorde-se que a carga de iluminação nominal corresponde à real), quer em extensão, quer em fracção da utilização da potência total. Isto advém do facto de em condições reais haver no edifício uma série de zonas com iluminação ligada total e ininterruptamente durante em todo o seu horário de funcionamento;
- Também na simulação nominal os consumos de arrefecimento são superiores aos de aquecimento;
- Os consumos eléctricos nominais para aquecimento são superiores aos reais, ao passo que os de arrefecimento são inferiores. Isto decorre da grande discrepância existente nos consumos de iluminação, que é cerca de 40%. Ou seja, as menores cargas de iluminação em condições nominais obrigam a maiores consumos de aquecimento no Inverno, ao passo que no Verão permitem consumos de arrefecimento inferiores.

Nas parcelas de aquecimento e arrefecimento do Indicador de Eficiência Energética contabilizaram-se os consumos dos ventiladores e das bombas de circulação de fluido frigorigéneo e água. Uma vez que estes consumos na simulação não surgem desagregados, a sua distribuição pelo  $IEE_I$  e  $IEE_V$  foi feita

contrapondo os consumos horários ao longo do ano dos ventiladores e bombas com a produção de calor e frio dos respectivos equipamentos. Estes consumos foram assim isolados e incluídos nas correspondentes parcelas. Denota-se ainda que no funcionamento da UTAN os consumos de ventilador referentes aos períodos em que não existe pré-aquecimento ou pré-arrefecimento de ar (ventilação de ar exterior à temperatura a que se encontra) foram igualmente identificados e incluídos na parcela  $Q_{out}$ .

Na Tabela 4.13 encontram-se discriminados esses consumos.

Tabela 4.13 – Consumos nominais dos ventiladores e bombas de circulação em condições nominais de simulação

	kWh	kgep	% total edifício	Parcela afecta
Ventiladores VCs aquecimento	11828	3430	2,17%	$IEE_I$
Ventiladores VCs arrefecimento	4829	1401	0,87%	$IEE_V$
Ventiladores UTAN aquecimento	19225	5575	3,53%	$IEE_I$
Ventiladores UTAN arrefecimento	14662	4252	2,69%	$IEE_V$
UTAN ar novo	7140	2071	1,31%	$Q_{out}$
Bombas de circulação aquecimento	2110	612	0,39%	$IEE_I$
Bombas de circulação arrefecimento	4084	1185	0,75%	$IEE_V$

#### 4.5.3.1 Indicador de Eficiência Energética

Os resultados apresentados conduzem, utilizando a metodologia descrita, a um IEE global para o edifício de 20,5 kgep/m<sup>2</sup>ano. Os IEE parciais de Verão e Inverno são, respectivamente, 2,7 kgep/m<sup>2</sup>ano e 4,5 kgep/m<sup>2</sup>ano, tomando a parcela  $Q_{out}/A_p$  o valor de 13,3 kgep/m<sup>2</sup>ano. A Tabela 4.14 sintetiza estes resultados.

Tabela 4.14 – Indicadores de Eficiência Energética Nominais para o edifício

	kgep/ano	kgep/m <sup>2</sup> ano
IEE Inverno	23794	4,5
IEE Verão	13795	2,7
$Q_{out}$	71753	13,3
IEE NOMINAL GLOBAL:		20,5

Este Indicador de Eficiência Energética global é denominado de  $IEE_{nom}$ , isto é, IEE nominal, e deverá ser analisado à luz do valor limite aplicável para edifícios existentes, constante do Anexo X do RSECE. Contudo, este é omissa para a tipologia de câmaras municipais, pelo que se opta por utilizar o valor limite para edifícios novos desta tipologia, que é de  $15 \text{ kgep/m}^2\cdot\text{ano}$  (Anexo XI do RSECE). Este valor designa-se por  $IEE_{ref}$ , ou seja, IEE de referência. Faz-se notar que, uma vez que os limites de consumo específico para edifícios novos são, naturalmente, inferiores aos dos edifícios existentes (existindo climatização), a opção tomada é de cariz conservativo.

Conforme é determinado no RSECE, caso o  $IEE_{nom}$  seja superior ao limite para edifícios existentes, o edifício deverá ser sujeito a um Plano de Racionalização Energética (ver Secção 2.3.2). Trata-se de um conjunto de medidas de racionalização energética, com o intuito de uma redução de consumos ou de custos de energia, elaborado na sequência de uma auditoria energética, organizado e seriado com base na sua exequibilidade e viabilidade económica. O PRE deverá estimar o efeito da sua implementação nos consumos energéticos reais e nominais, e consequentemente na classificação energética. Deverá ainda no seu âmbito ser discutida a viabilidade económica das medidas tendo em conta o funcionamento real do edifício e a redução prevista na factura energética anual

As medidas que constem no PRE que tenham um período de retorno simples inferior a oito anos, determinado por simulação energética (ou por outro método de cálculo) para as condições reais de funcionamento do edifício, são de execução obrigatória num prazo até três anos após a data de emissão do certificado energético.

As medidas conducentes a esta racionalização são discutidas mais à frente, na Secção 4.6.

#### 4.5.3.2 Classe energética

A classificação energética de edifícios de serviços (grandes ou pequenos com sistemas de climatização superior ou igual a 25 kW de potência instalada, como é o caso) é determinada em função dos seguintes valores:

- $IEE_{nom}$  – o IEE nominal obtido por simulação dinâmica ( $20,5 \text{ kgep/m}^2\cdot\text{ano}$ );
- $IEE_{ref}$  – o IEE de referência para a tipologia ( $15 \text{ kgep/m}^2\cdot\text{ano}$ );
- S – parâmetro obtido pela soma dos consumos específicos para aquecimento, arrefecimento e iluminação, conforme determinados na simulação dinâmica que deu origem aos valores limites de referência para edifícios novos que constam no regulamento. Os valores de S estão tabelados por tipologia e constam do Anexo IV do Despacho n.º 10250/2008. Para o nosso edifício, S toma o valor de  $11 \text{ kgep/m}^2\cdot\text{ano}$ .

As classes energéticas são pois definidas pela metodologia patente na Tabela 4.15:

Tabela 4.15 – Determinação dos limites das classes energéticas

		Classe	Forma de cálculo dos limites	Limite superior (kgep/m <sup>2</sup> .ano)
Edifícios existentes	Ed. novos	A+	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,75.S$	6,75
		A	$IEE_{ref} - 0,75.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,50.S$	9,5
		B	$IEE_{ref} - 0,50.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,25.S$	12,25
		B-	$IEE_{ref} - 0,25.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref}$	15
		C	$IEE_{ref} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 0,5.S$	20,5
		D	$IEE_{ref} + 0,5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + S$	26
		E	$IEE_{ref} + S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 1,5.S$	31,5
		F	$IEE_{ref} + 1,5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 2.S$	37
		G	$IEE_{ref} + 2.S < IEE_{nom}$	

A Figura 4.33 apresenta uma representação gráfica dos limites das várias classes energéticas.

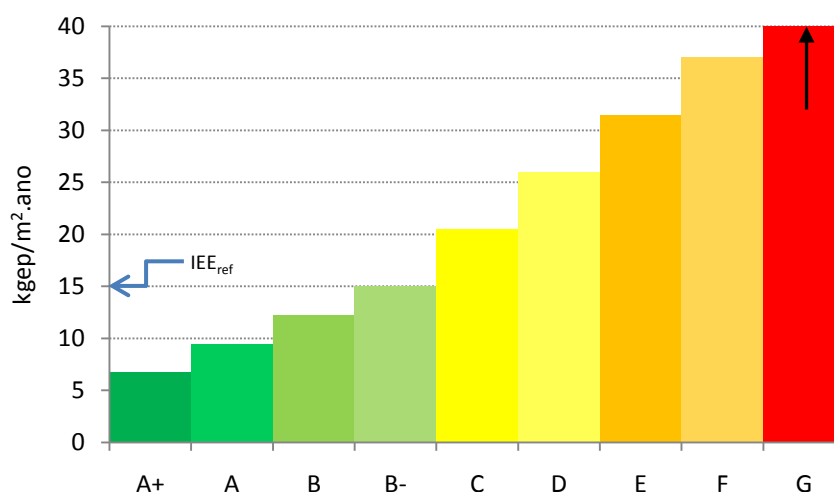


Figura 4.33 – Classes energéticas para o edifício em estudo

Da análise dos resultados anteriores, conclui-se que:

- A classe energética do edifício é C;
- Dado o valor do IEE nominal do edifício ultrapassar o limite considerado para o IEE de referência, o edifício deverá ser sujeito a um Plano de Racionalização Energética.

## **4.6 Propostas de optimização energética e de incorporação de energias renováveis**

Um dos objectivos do presente trabalho consiste na identificação e análise de potenciais medidas de melhoria na eficiência energética do edifício, estimativa dos custos dessas medidas e poupança de energia e redução da factura energética anuais a que as mesmas conduzem. Esta secção apresenta essas várias medidas organizadas pelo seu tipo:

- Iluminação;
- Aproveitamento fotovoltaico;
- Aproveitamento geotérmico.

### **4.6.1 Iluminação**

Numa perspectiva de redução da factura energética, claramente a área em que existe maior potencial para intervenção é no campo da iluminação, conforme se pode uma forma rápida inferir observando a Figura 4.29, com a iluminação a pesar 54,6% dos consumos eléctricos globais.

A identificação dos locais onde é pertinente fazer a intervenção que será proposta obedece a três critérios:

1. Compatibilidade entre o tipo de alterações possíveis e o carácter do espaço;
2. Densidade de potência de iluminação;
3. Peso da zona nos consumos globais anuais.

A compatibilidade entre o tipo de alterações possíveis e o carácter do espaço é o primeiro critério a ter em conta, dada a natureza emblemática do edifício e dos seus espaços interiores. Por exemplo, apesar das elevadas densidades de potência de iluminação no Salão Nobre ou na Biblioteca, poderá não ser possível existir nestes locais determinadas intervenções que visem melhorar a eficiência luminosa sem comprometer algumas das características arquitectónicas que tornam esses locais simbólicos.

A densidade de potência luminosa vem em segundo lugar, pois a seguir é o indicador mais evidente para aferir onde se pode actuar.

Em terceiro lugar, temos o peso que os espaços representam nos consumos globais de electricidade do edifício.



Assim, se atentarmos às densidades de iluminação média para as zonas térmicas do edifício por contraponto com os consumos eléctricos totais para essas mesmas zonas (Figura 4.34), podemos identificar facilmente as áreas com maior potencial para intervenção. Estas, depois de aplicado o primeiro critério, irão ser as que apresentem simultaneamente valores altos nos dois campos. Note-se ainda que altas densidades de iluminação nem sempre implicam consumos relativamente elevados no final do ano, assim como consumos elevados também não implicam densidades de iluminação altas (isto porque os perfis de utilização assim o poderão determinar). No entanto, estes espaços podem ter um peso significativo nos consumos energéticos em condições nominais.

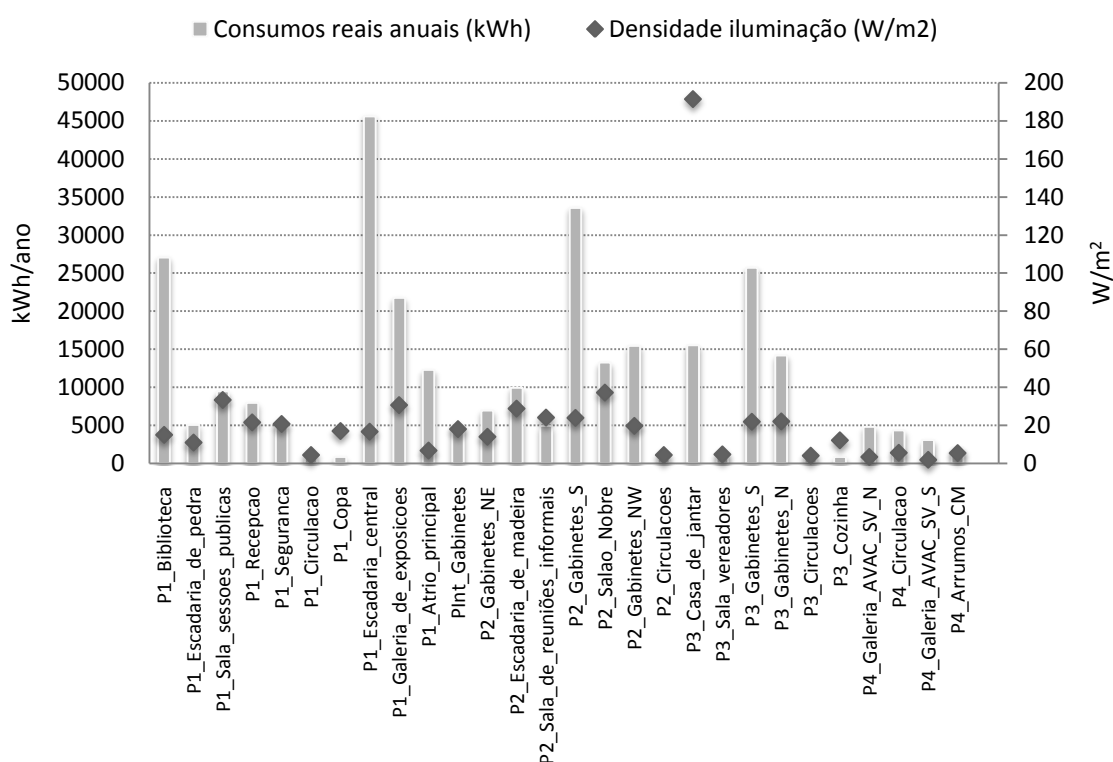


Figura 4.34 – Densidades de potência e consumos eléctricos de iluminação das zonas térmicas

Ainda antes da identificação dos espaços, importa fazer um estudo das alterações que se poderão propor.

Assim, teremos a considerar três tipos de intervenção, que constituem o cenário Iluminação Baixo Consumo (IBC):

1. Substituição das lâmpadas incandescentes de 42 W existentes (equivalentes em luminosidade a lâmpadas incandescentes convencionais de 60 W) nos candeeiros suspensos por lâmpadas fluorescentes compactas de 12 W, debitando uma quantidade de lumens equivalente, não alterando portanto a quantidade de luz disponível. Esta é uma alteração que não é dependente das características arquitectónicas do espaço ou do suporte, dado existirem lâmpadas de baixo

consumo esteticamente compatíveis (p. e., Philips Softone Candle Shape, ou OSRAM Duluxstar Classic B). Seja como for, esta é uma alteração que terá de ser implementada a prazo, dada a proibição gradual da comercialização de lâmpadas incandescentes pela UE de 01 de Setembro de 2009 até 01 de Setembro de 2012;

2. Nos gabinetes, propõe-se a eliminação das lâmpadas em sanca para iluminação dos espaços, dado este tipo de iluminação ter uma entrega altamente ineficiente (rendimento luminoso inferior a 1/3, ou seja, menos de um em cada três fótons emitidos alcança o plano de trabalho). Isto é apoiado no facto dos gabinetes actualmente apresentarem um valor médio de iluminação de  $20 \text{ W/m}^2$ , o que é manifestamente alto. Aconselha-se portanto uma solução de iluminação directa num plano abaixo do do tecto, que permita um nível de luminosidade no plano de trabalho de entre 350 e 400 lux. Uma possibilidade é a instalação de luminárias suspensas no tecto ou a colocação apliques nas paredes (por exemplo, apliques lineares na base da sanca de lâmpadas tubulares fluorescentes dotados de difusor translúcido). Um sistema deste tipo poderá reduzir os  $20 \text{ W/m}^2$  para  $8 \text{ W/m}^2$ , um valor já consentâneo com as boas práticas modernas de eficiência energética. A possibilidade da instalação de candeeiros para iluminação próxima do plano de trabalho também não é de descartar, dado introduzir ainda maiores ganhos de eficiência;
3. Substituição das lâmpadas de halogéneo existentes por outras alternativas de menor consumo eléctrico mas igual potência luminosa, as quais permitem ganhos na eficiência relativamente às lâmpadas convencionais na ordem dos 25% (p. e., gamas OSRAM Haloline Energy Saver, OSRAM DECOSTAR Energy Saver).

Identificam-se então na Tabela 4.16 os espaços onde serão propostas estas redefinições.

É ainda definido um segundo cenário de iluminação de baixo consumo, denominado IBC2. Este cenário acumula ao cenário anterior uma alteração nas Schedules de utilização de luzes nos gabinetes, de forma a estas coincidirem com a ocupação. A razão desta cenarização prende-se com o facto de ser ter constatado que as luzes dos gabinetes, na sua utilização real, mantêm-se acesas em todo o horário de utilização do edifício. Ou seja, durante as horas das refeições ou em qualquer outro caso de ausência do funcionário, tendencialmente as luzes não são apagadas, segundo permitiu o inquérito apurar. Este cenário considera portanto que a iluminação acompanha a ocupação dos locais, e a sua implementação poderá passar por uma consciencialização dos funcionários para a importância de apagar as luzes aquando da sua saída ou pode ainda passar pela adopção de detectores volumétricos de presença nos gabinetes.

Estes espaços no total representam um consumo de 238784 kWh/ano, ou seja, 80,26% dos consumos totais em iluminação, e 43,85% da factura eléctrica.

Tabela 4.16 – Intervenções propostas no campo da iluminação nos diferentes espaços

	Intervenção 1	Intervenção 2	Intervenção 3	Densidade iluminação actual (W/m <sup>2</sup> )	Densidade iluminação após a intervenção (W/m <sup>2</sup> )
P1_Biblioteca	×		×	15,0	12,6
P1_Escadaria_de_Pedra			×	11,0	10,0
P1_Escadaria_Central			×	16,5	15,6
PInt_Gabinetes		×		18,0	8,0
P2_Gabinetes_NE	×	×		13,9	8,0
P2_Escadaria_de_madeira			×	28,7	25,0
P2_Sala_de_reuniões_informais	×			23,9	6,8
P2_Gabinetes_S	×	×		23,8	8,0
P2_Salao_Nobre	×			37,1	34,2
P2_Gabinetes_NW	×	×		19,7	8,0
P3_Casa_de_jantar			×	191,4	158,4
P3_Gabinetes_S	×	×		21,8	8,0
P3_Gabinetes_N	×	×		22,0	8,0

#### 4.6.2 Aproveitamento fotovoltaico

A cobertura do edifício oferece a possibilidade de instalação nas suas águas sul de um sistema de captação fotovoltaica. A área disponível para tal é de aproximadamente 220 m<sup>2</sup>, com uma inclinação de aproximadamente 11° e um azimuth de 17° em relação ao Sul em sentido anti-horário. Com o objectivo de apurar a produção que se poderia esperar de um sistema instalado no local, foi feito um dimensionamento com base em módulos solares BP4175T, de silício monocristalino, escolhidos por apresentarem um rendimento de conversão solar interessante (13,9%) dentro do comercialmente disponível. Os painéis, por motivos arquitectónicos, deverão, naturalmente, ser instalados em plano paralelo ao da cobertura (a inclinação de 11° penaliza a produção em aproximadamente 6,1 % relativamente à inclinação óptima de 32°). Cada módulo possui uma área de ~1,2 m<sup>2</sup> e uma potência-pico de 175 W. Uma análise à geometria da cobertura e possibilidades de instalação que oferece (Figura 4.35) permitiu verificar que é possível a instalação de 137 destes módulos, o que significa uma potência pico de cerca de 24 kW instalada.

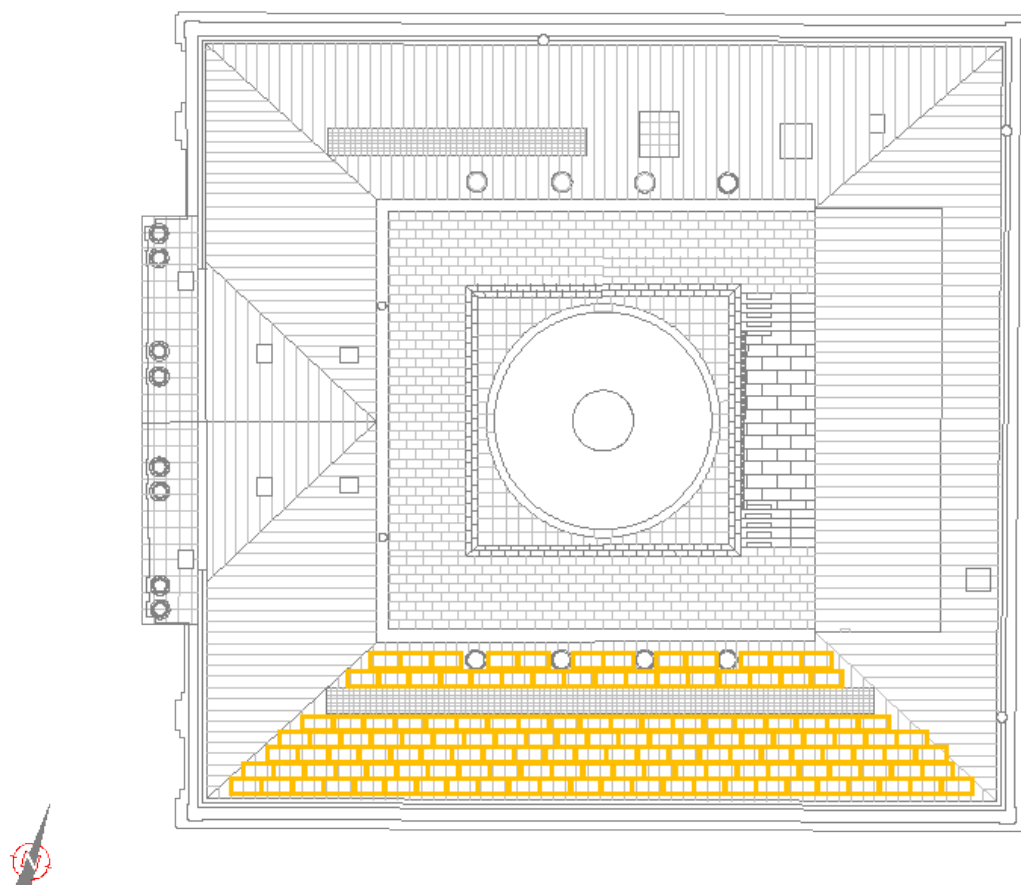


Figura 4.35 – Instalação fotovoltaica na cobertura

Uma simulação no PVGIS permitiu verificar que a produção média anual seria de cerca de 31300 kWh, já descontadas perdas no sistema devido à temperatura de 10%, perdas na cablagem e no inversor de 14% e perdas devidas a reflectância angular de 3%. Este cenário denominou-se *PV*. A produção média mensal estimada está patente na Figura 4.36 (JRC European Commission, 2009).

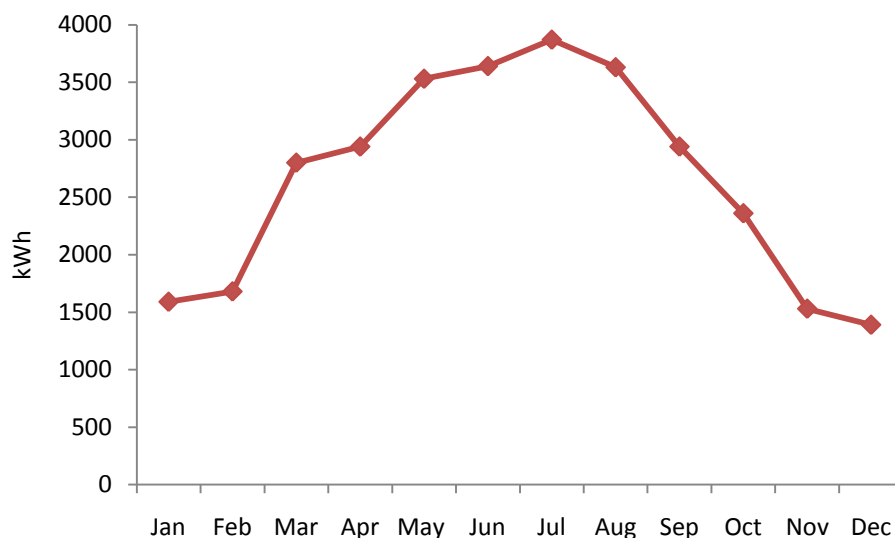


Figura 4.36 – Produção média mensal de electricidade do sistema fotovoltaico proposto

#### 4.6.3 Aproveitamento geotérmico

Em toda a baixa pombalina ribeirinha o nível freático encontra-se bastante próximo da cota do chão. Mais concretamente, essa profundidade é de cerca de 3,5 m (Farinha, 1995), assentando os edifícios em estacaria cravada em terrenos de aluvião abaixo desse nível. Note-se que o edifício possui bombas hidráulicas para retirar água que actuam em situação de subida anormal do nível freático, conforme referido na Secção 4.2.5.

Dada esta proximidade do nível freático da superfície, é pertinente o estudo de um cenário de aproveitamento desta mais-valia geotérmica, denominado BCG. A mesma é proporcionada pelas temperaturas quase constantes das águas freáticas ao longo do ano (fonte fria ou quente com uma temperatura estável), o que permite COPs efectivos de uma bomba de calor geotérmica (BCG) muito interessantes. Tipicamente, uma bomba de calor geotérmica água-água apresentará um COP na ordem dos 4,5.

Trata-se de um equipamento a instalar na cave ligado por tubagem hidráulica à cobertura e a dois permutadores para trocas térmicas com as águas do subsolo: um para a entrega instalado num poço freático e outro para o retorno instalado idealmente noutro poço freático, a uma distância suficiente que elimine as interacções. Esta bomba de calor geotérmica ligará à UTAN na cobertura e poderá fazer a vez da BC/chiller existente actualmente, que é também um sistema água-água, o qual se poderá manter em funcionamento paralelo para efeitos de *backup*. Quanto à colocação da BCG a servir os ventiloconvectores do tipo VRV, tal poderá revelar-se de difícil implementação técnica, devido à incompatibilidade directa entre sistemas água-água e ar-líquido frigorígeno, pelo que este cenário não

foi considerado. Faz-se ressaltar que a completa viabilidade técnica deste cenário carece de um estudo mais detalhado, o qual não faz parte das ambições desta análise.

## **4.7 Resultados previstos para a optimização energética**

Nesta secção apresentam-se os efeitos previstos decorrentes da implementação dos cenários já ilustrados. Recapitula-se que primeiro cenário de iluminação de baixo consumo é designado por *IBC*, o segundo *IBC2* (cenário IBC mais sensores de presença nos gabinetes), o cenário de aproveitamento fotovoltaico é designado por *PV* e o cenário de instalação de uma bomba de calor geotérmica é designado por *BCG*.

Na primeira parte faz-se uma análise comparada entre os consumos de energia do edifício em condições reais na actualidade com os consumos previstos após execução das propostas. Aqui, as simulações efectuadas foram-no com condições reais de funcionamento, permitindo portanto avaliar o impacto na factura energética e estimar o período de retorno simples das medidas de melhoria.

Na segunda parte faz-se o mesmo tipo de análise, mas para condições nominais, verificando o impacto das medidas no Indicador de Eficiência Energética e na classe do edifício. As simulações aqui foram efectuadas com as condições nominais regulamentares de ocupação, iluminação e equipamento.

Os períodos de retorno apresentados foram calculados com base no preço médio do kWh comprado pelo edifício à EDP, que foi de €0,115 (média ponderada do preço pago nos últimos três anos).

### **4.7.1 Resultados em condições reais**

Na Figura 4.37 estão patentes os consumos eléctricos previstos pelas simulações dinâmicas em condições reais de utilização do edifício para os vários cenários projectados.

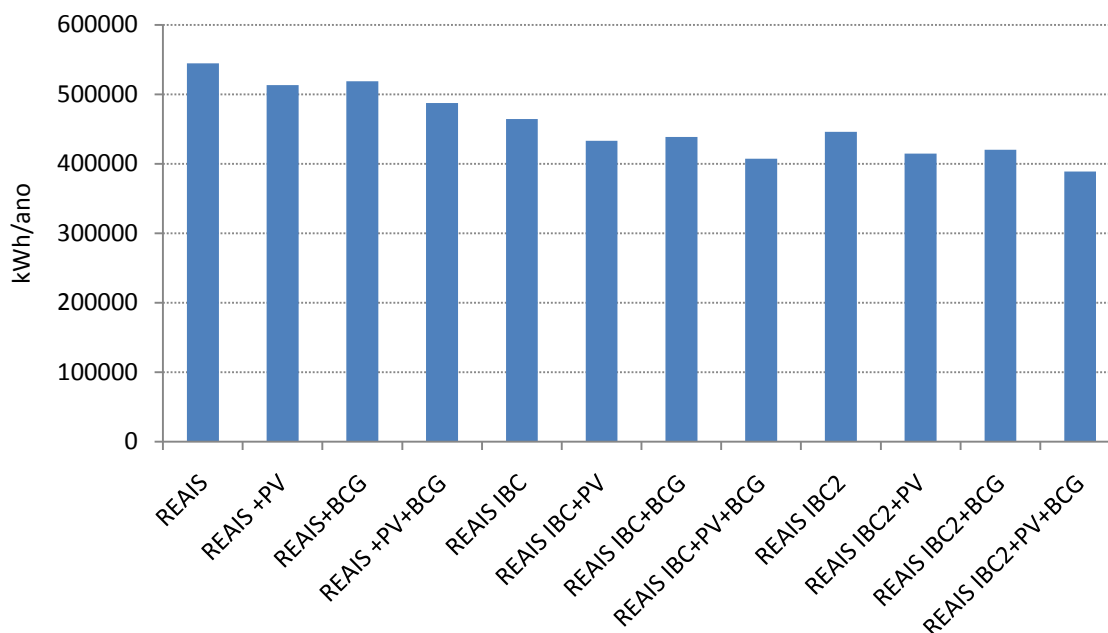


Figura 4.37 – Facturação EDP total do edifício para os vários cenários projectados (nos cenários PV a produção é descontada nos consumos)

Na Figura 4.38 constam os consumos desagregados por utilização nos cenários projectados, à excepção dos cenários PV, pois não representam alteração de consumos, mas sim uma redução na factura EDP.

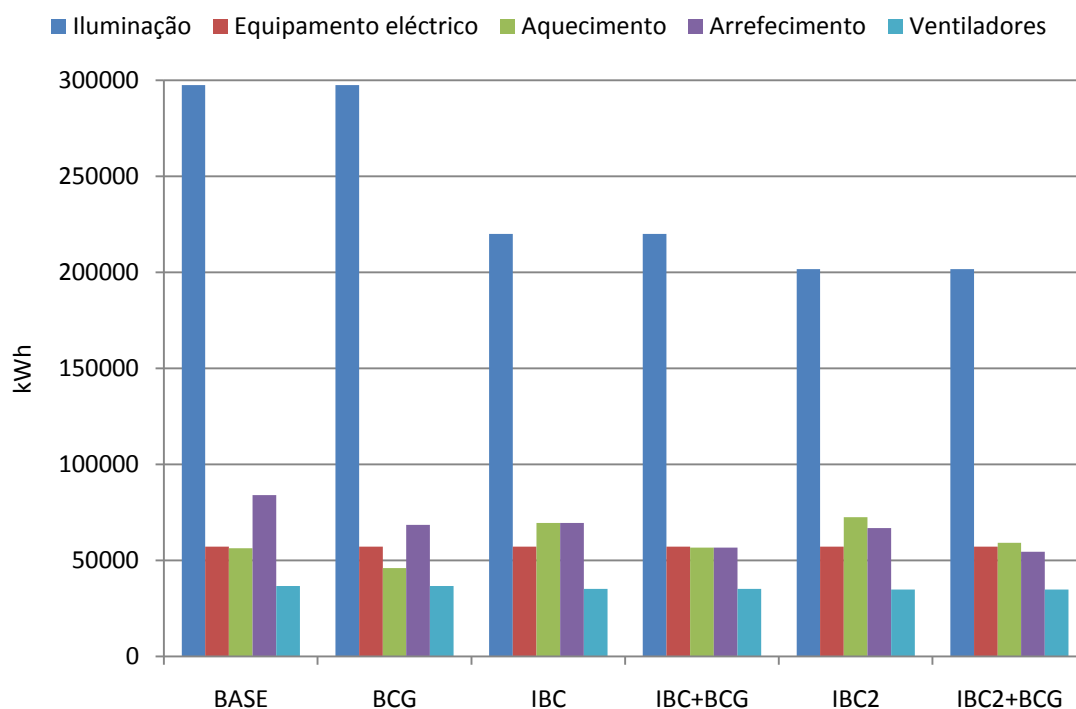


Figura 4.38 – Consumos eléctricos por utilização dos cenários projectados

Os valores dos consumos e poupanças anuais apresentam-se seguidamente, na Tabela 4.17.

**Tabela 4.17 – Descriminação dos consumos de electricidade da rede para os vários cenários**

		REAIS	REAIS +PV	REAIS+ BCG	REAIS +PV+ BCG	REAIS IBC	REAIS IBC+ PV	REAIS IBC+ BCG	REAIS IBC+PV +BCG	REAIS IBC2	REAIS IBC2+ PV	REAIS IBC2+ BCG	REAIS IBC2+PV +BCG
Resultados da simulação (kWh/ano)	Iluminação	297501	297501	297501	297501	220070	220070	220070	220070	201702	201702	201702	201702
	Equipamento eléctrico	57132	57132	57132	57132	57132	57132	57132	57132	57132	57132	57132	57132
	Consumos eléctricos para assegurar pedidos térmicos de aquecimento	56301	56301	45898	45898	69396	69396	56573	56573	72515	72515	59116	59116
	Consumos eléctricos para assegurar pedidos térmicos de arrefecimento	83945	83945	68434	68434	69549	69549	56698	56698	66852	66852	54499	54499
	FANs VCs aquecimento	12729	12729	12729	12729	12765	12765	12765	12765	12789	12789	12789	12789
	FANs VCs arrefecimento	7750	7750	7750	7750	6081	6081	6081	6081	5812	5812	5812	5812
	FAN UTAN aquecimento	7594	7594	7594	7594	7594	7594	7594	7594	7594	7594	7594	7594
	FAN UTAN arrefecimento	5615	5615	5615	5615	5620	5620	5620	5620	5620	5620	5620	5620
	FAN UTAN Ar novo n/ climatizado	3014	3014	3014	3014	3009	3009	3009	3009	3009	3009	3009	3009
	Elevadores (2 de 6kW cada, 2h/dia)	6257	6257	6257	6257	6257	6257	6257	6257	6257	6257	6257	6257
	Bombas de circulação	6711	6711	6711	6711	6711	6711	6711	6711	6711	6711	6711	6711
	PV	0	-31300	0	-31300	0	-31300	0	-31300	0	-31300	0	-31300
	TOTAL:	544549	513249	518634	487334	464185	432885	438510	407210	445994	414694	420241	388941
	Poupança:		31300	25915	57215	80364	111664	106039	137339	98555	129855	124308	155608

Os valores totais apresentados na Tabela 4.17 pressupõem que a produção PV é para consumo próprio, embora na verdade essa produção possa ser injectada na rede. O que se apresenta é portanto o saldo entre o consumido e o gasto em kWh.



No capítulo do cenário PV, considera-se um custo de instalação do sistema de 800 €/m<sup>2</sup>, pelo que o sistema proposto teria um custo inicial de 137400 Euros, resultando num *payback* de 38 anos. Este período de retorno claramente alto não advém só do facto de a cobertura não apresentar uma inclinação óptima para a produção PV, que é de 33° para o azimuth das águas sul do edifício (a produção subiria aproximadamente 2000 kWh/ano caso os painéis fossem instalados com essa inclinação, o que corresponde a um incremento de 6% na produção anual); advém principalmente dos custos ainda altos de instalação dos sistemas PV e também de não ser possível no caso recorrer ao regime bonificado de microgeração, por ser excedida a potência limite que existe actualmente para esse regime (3,68 kW) (DGEG, 2009). Assim, aplica-se o regime geral, em que o kWh vendido à rede tem o mesmo preço do kWh comprado, e foi com base neste pressuposto que o retorno do investimento foi calculado.

No capítulo da bomba de calor geotérmica, tipicamente, uma bomba água-água deste tipo apresentará COPs nominais na ordem dos 4,5. Contudo, por via de perdas nas tubagens, do desgaste dos órgãos internos dos equipamentos de produção (compressores, válvulas, etc.), o COP efectivo global do sistema resulta inferior. Para o sistema actual, essa diminuição estimou-se ser de 40% (ver Secção 4.4.9). Para o sistema que engloba a BCG, considerando que num equipamento novo as perdas resultantes da degradação temporal não se fazem sentir, assumimos uma diminuição de eficiência inferior, de 30%, estimando-se o COP efectivo resultante de 3,15. Isto representa uma melhoria de mais de 100% relativamente ao COP efectivo médio real que foi apurado por simulação (1,5). O COP para todo o edifício, ponderado pelos pedidos térmicos aos vários equipamentos, passa a ser de 1,84 (melhoria de 22,6%). Isto traduz-se numa poupança anual de 25915 kWh, o que corresponde a €2980. Para o cálculo do período de retorno considerou-se o custo de uma bomba de calor geotérmica com uma potência semelhante à da BC/chiller actualmente instalada (65 kW arrefecimento, 73 kW aquecimento), marca Carrier, modelo 30RW070, e permutadores apropriados para instalação nos poços, bem como toda a tubagem envolvida. Adicionou-se ainda ao total do valor apurado 30% para cobrir custos de instalação e obteve-se um valor de €31344, o que se traduz num período de retorno de cerca de 10 anos.

Caso numa futura intervenção de reabilitação a rede de ar novo seja estendida a todos os espaços do edifício, a aplicabilidade da BCG é ampliada, juntamente com as suas vantagens.

Relativamente ao cenário IBC, este permite poupanças anuais na factura de electricidade do edifício de 80364 kWh (14,8% dos consumos eléctricos), o que se traduz numa poupança anual de €9242. Considerou-se no cálculo do período de retorno um custo médio para as lâmpadas propostas de €10 por unidade, envolvendo a operação de substituição de lâmpadas um total de 548 unidades;

considerou-se ainda que nos locais onde é proposta a substituição da iluminação em sanca esta operação terá um custo médio de 50 €/m<sup>2</sup> (de área de pavimento), perfazendo o total do investimento €64696. Isto representa um período de retorno de 7 anos.

Se se tiver em conta o cenário IBC2, o período de retorno baixa para os 6,5 anos. Neste cenário foi considerada a adopção de detectores volumétricos de presença nos gabinetes, para os quais se estima um custo de 7,5 €/m<sup>2</sup>.

Se se considerar a combinação dos cenários IBC, PV e BCG, a factura de electricidade baixará em 25,2%, correspondendo a uma poupança anual de €15794 e a um *payback* de 14,8 anos, valor que não se afigura extraordinariamente alto. Se a fasquia subir para a implementação dos cenários IBC2+PV+BCG, o período de retorno baixa para os 13,5 anos.

A Tabela 4.18 resume estes e outros resultados.

Tabela 4.18 – Poupanças anuais e períodos de retorno dos cenários propostos

	REAI +PV	REAI+ B CG	REAI +PV+ BCG	REAI IBC	REAI IBC+ PV	REAI IBC+ BCG	REAI IBC+PV+ BCG	REAI IBC2	REAI IBC2+ PV	REAI IBC2+ BCG	REAI IBC2+PV +BCG
Poupança anual (€)	3600	2980	6580	9242	12841	12194	15794	11334	14933	14295	17895
Poupança anual (% de consumos)	5,7%	4,8%	10,5%	14,8%	20,5%	19,5%	25,2%	18,1%	23,8%	22,8%	28,6%
Custo de investimento (€)	137409	31344	168753	64697	202105	96041	233449	73579	210988	104923	242332
<i>Payback</i> (anos)	38,2	10,5	25,6	7,0	15,7	7,9	14,8	6,5	14,1	7,3	13,5

#### 4.7.2 Resultados em condições nominais

Os cenários de iluminação de baixo consumo, aproveitamento fotovoltaico e aproveitamento geotérmico, discutidos no ponto 4.6, foram igualmente simulados em condições nominais. O segundo cenário de iluminação de baixo consumo (IBC2) não foi simulado nestas condições em virtude de, face ao cenário IBC1, consistir numa alteração do perfil de funcionamento da iluminação. Ora, visto serem as condições nominais a determinar este perfil, este cenário só faz sentido ser simulado para condições reais de funcionamento.

Foi definido um cenário IBC adicional, denominado de IBC3. Este cenário tem por base o cenário IBC, ao qual se acrescenta uma reformulação da iluminação exterior e da Casa de Jantar:

- A iluminação exterior apresenta 800 W em lâmpadas de halogéneo de consumo normal, que podem ser substituídas por lâmpadas com uma potência eléctrica 25% inferior, mas de igual potência luminosa;
- A iluminação da casa de jantar apresenta seis sistemas de iluminação por fibra óptica que se destinam a iluminar um tecto falso de vidro, um painel escultórico e uma parede de vidro. No seu conjunto, a potência é de 7,8 kW. A densidade de potência de iluminação para este espaço é de  $191 \text{ W/m}^2$ , sendo pertinente o repensar da potência que este sistema apresenta. A substituição dos geradores de luz existentes na Casa de Jantar por uns com tecnologia de *led* é de analisar, e a simulação do cenário IBC3 pressupõe uma redução da potência instalada em 2/3.

Embora o nº de horas por ano em que estes dois sistemas efectivamente se encontram ligados possa ser baixo, dado que, de acordo com o inquérito efectuado, ambos são muito pouco utilizados, e portanto na realidade não são responsáveis por consumos significativos em kWh/ano, o mesmo já não se pode dizer do seu peso no IEE nominal (e por este motivo a existência deste cenário só faz sentido em condições nominais). Isto decorre do facto do perfil de funcionamento considerado na simulação em condições nominais ser o que é determinado no regulamento, e portanto muito superior ao que acontece na realidade (o regulamento não tem em conta situações de equipamentos instalados que possam ser utilizados pontualmente ou mesmo nunca utilizados), e também do facto da densidade luminosa para a Casa de Jantar ser muito alta. Nesta secção, prescindiu-se do cálculo dos períodos de retorno, pois os mesmos foram já apresentados para condições reais, que é onde possuem relevância.

A Figura 4.39 apresenta os valores de IEE resultantes das medidas propostas.

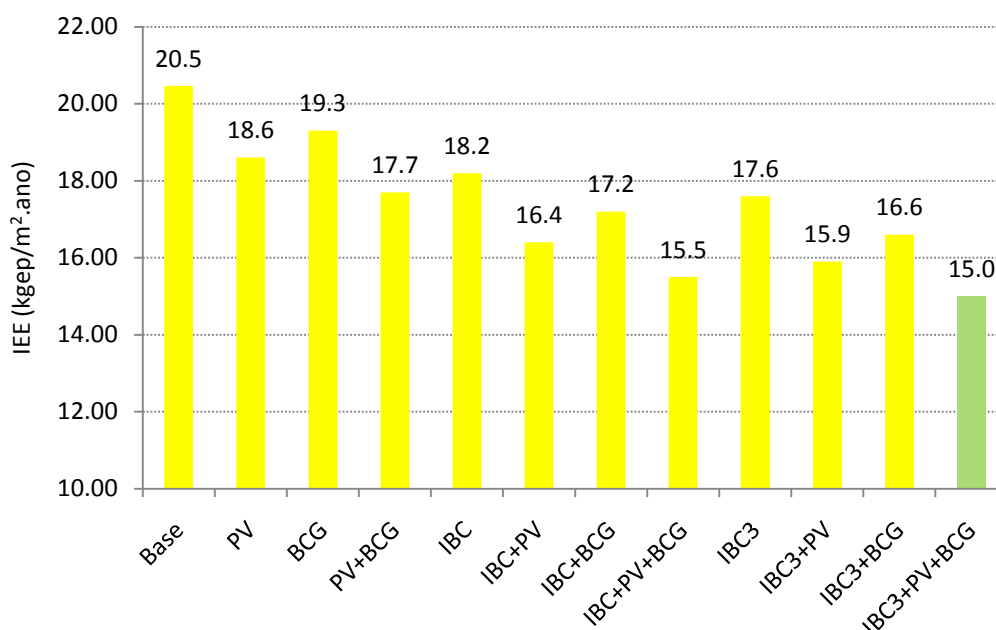


Figura 4.39 – Evolução do Indicador de Eficiência Energética nominal em função dos vários cenários

Dos resultados apresentados, salienta-se:

- A concomitância de todos os cenários (IBC3+PV+BCG) permite um salto na classe energética do edifício, passando de C para B-;
- Esta melhoria de classe é conseguida através de uma melhoria no IEE de 5,5 kgEP/m².ano, o que representa uma descida de 25% no indicador;
- As reduções intermédias conseguidas no IEE através da implementação isolada ou parcialmente conjunta dos vários cenários não são desprezáveis, apesar de não serem o suficiente para um salto de classe. Tal deve-se ao facto de o edifício no cenário base nominal estar já no limite superior da classe C, à beira da passagem para D, significando que uma melhoria de classe implica todo o atravessar da classe C, que é mais larga em relação às classes A+, A, B e B-;
- A passagem do cenário IBC para IBC3, apesar de ter efeitos desprezáveis nos consumos reais do edifício, conforme discutido, permite uma melhoria no IEE de 0,6 kgEP/m².ano, ou seja, cerca de 2,9% do valor do indicador. Os custos adicionais da intervenção estimam-se em cerca de €3000, que corresponde à substituição dos seis alimentadores de fibra óptica que existem actualmente na Casa de Jantar por uns de tecnologia *led* (por exemplo, Litewave/Iceled *Coolfusion*). Com base nestes pressupostos, o período de retorno nominal desta medida é de 2,65 anos.

## 5. Limitações qualitativas do actual SCE

O Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior português pretende ser um meio activo de promoção da eficiência energética, ao mesmo tempo que sugere padrões de conforto térmico e impõe padrões de qualidade do ar interior. Em última instância, deverá proporcionar no sector dos edifícios poupanças de energia tangíveis face ao que seria o sector sem essa regulação. Contudo, na actual formatação do SCE, existem critérios que foram descurados e que podem relevar de especial importância no apuramento da sustentabilidade energética de um edifício. Por exemplo a energia dispendida na sua construção e, em especial, no fabrico dos materiais que o compõem. Os materiais de construção que proporcionam maior eficiência energética têm muitas vezes associados processos de fabrico energeticamente intensivos que reduzem e, no limite, anulam as poupanças energéticas que proporcionam durante o período de utilização de um edifício, mesmo sendo este tipicamente bastante alargado. Nesta secção faz-se uma abordagem qualitativa deste e de alguns outros aspectos que constituem limitações e igualmente campos de melhoria no actual SCE.

### 5.1 A relevância da análise do ciclo de vida integral de um edifício

O impacto energético de um edifício vai muito para além dos seus consumos de energia operacionais, isto é, os que decorrem da sua utilização. Para o impacto ser avaliado correctamente, implica fazer uma análise integral dos gastos de energia que são inerentes a todas as etapas do ciclo de vida do edifício. Uma lacuna comum nos sistemas de certificação energética, e em particular do português, é o facto de prever uma contabilização de consumos de energia que se limita aos operacionais, deixando de lado a energia incorporada (*embodied energy*) nos materiais e equipamentos que fazem parte do edifício e que decorre de:

- Processos de fabrico;
- Transporte;
- Montagem;
- No fim do ciclo de vida, desmantelamento e reciclagem.

A Figura 5.1 (Centre for Building Performance Research, 2007) apresenta, a título exemplificativo, coeficientes de energia incorporada em alguns materiais seleccionados.

Tabela 5.1 – Valores de energia incorporada nos materiais

	MJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>
Madeira para construção (serrada)	2,0	1550
Betão pré-esforçado	2,0	--
Fibra de vidro (isolante)	30,3	--
Aço reciclado	10,1	37210
Aço virgem	32,0	251200
Poliestireno (isolante)	53,7	430
Alumínio reciclado extrudido anodizado	42,9	115830
Alumínio virgem extrudido anodizado	227	612900

Esta abordagem parcial do ciclo energético dos edifícios pode ter efeitos enganadores, permitindo o envio de sinais errados ao mercado e a sua divergência do caminho para a sustentabilidade. E este efeito torna-se mais gravoso à medida que a eficiência energética do ponto de vista operacional do edifício aumenta, uma vez que, por norma, neste caso a energia incorporada nos materiais tem um peso relativo superior no consumo global durante o ciclo de vida. Por isto, não prevendo o sistema de certificação a contabilização desta energia, existe a possibilidade de projectos de edifícios com consumos energéticos baixos em todo o ciclo de vida não serem aprovados por não cumprirem o regulamento. Ou que obtenham uma classificação energética inferior a outros edifícios com consumos globais superiores, embora com consumos operacionais inferiores. Nestas circunstâncias, os regulamentos energéticos e os sistemas de certificação não atingem na plenitude os seus objectivos, ficando limitados e produzindo distorções no mercado.

Na Figura 5.1, adaptada de (Casals, 2005), mostra-se a evolução dos gastos acumulados de energia ao longo do ciclo de vida de duas habitações de 150 m<sup>2</sup> cada: uma pretensamente eficiente (na base dos seus consumos operacionais) e outra considerada mediana. Esta última apresenta materiais construtivos com energia incorporada relativamente baixa, como madeira e vidro corrente, e um equipamento AVAC básico. A habitação “eficiente”, por outro lado, tem na sua constituição materiais de fabrico energeticamente intensivo, como alumínio, aço e materiais isolantes, e apresenta um equipamento AVAC mais sofisticado e com maior eficiência. Os gastos em climatização da habitação “mediana” são de 70 kWh/m<sup>2</sup>.ano para aquecimento e 50 kWh/m<sup>2</sup>.ano para arrefecimento. A habitação “eficiente” tem gastos em climatização 20% inferiores. Ambos os edifícios têm o mesmo consumo em AQS (22,5 kWh/dia) e em electricidade para equipamentos (9,72 kWh/dia). Considera-se que a energia dispendida em manutenção e obras ao longo do tempo de vida dos edifícios é a mesma nos dois casos.

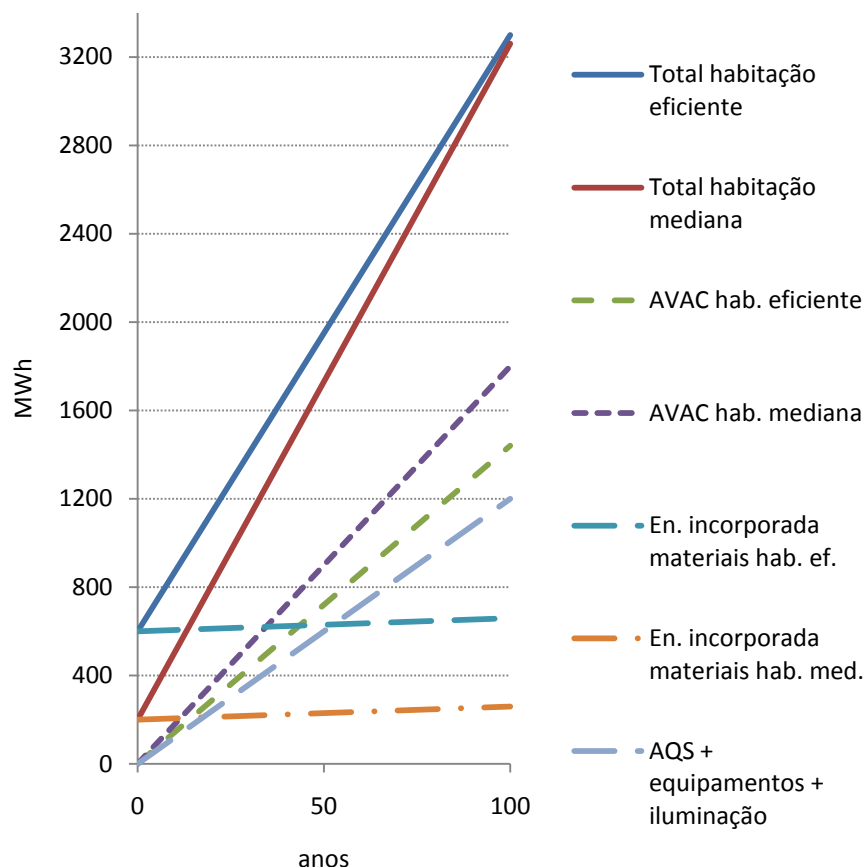


Figura 5.1 – Evolução da energia acumulada ao longo do ciclo de vida de duas habitações, uma de elevada eficiência energética operacional e outra mediana

Este exemplo permite perceber que a análise energética do ciclo de vida de um edifício, mesmo para períodos grandes (100 anos), pode demonstrar que edifícios tidos como energeticamente eficientes podem na realidade ter associados consumos superiores a outros edifícios considerados menos eficientes.

Os resultados apresentados na Figura 5.1 assumem um incremento baixo na eficiência energética operacional do edifício “eficiente” face ao “mediano” (20% em climatização). No caso em apreço, caso esse valor subisse para, por exemplo, 30%, isso significa que esse edifício apenas implicaria poupanças em energia a partir dos 72 anos de utilização. Trata-se de um prazo de tempo demasiado dilatado, quer sob o ponto de vista das metas a cumprir no âmbito do combate às alterações climáticas, quer sob o ponto de vista da duração dos edifícios, que nem sempre atinge esse limite e, por norma, quando isso acontece, sofrem antes disso grandes intervenções de reabilitação. Dito de outra forma, os resultados seriam semelhantes mas para prazos de tempo menos dilatados.

A tipicamente maior energia incorporada nos materiais de edifícios “eficientes” advém, por exemplo, de soluções como sejam a adopção de autómatos na operação do edifício (sombreamento activo, por

exemplo), de materiais isolantes ou de materiais como o alumínio com corte térmico em substituição de madeira nas caixilharias das janelas. Estas particularidades devem pois entrar em linha de conta nos regulamentos e sistemas de certificação energética, sob pena de estes não traduzirem a realidade fidedignamente.

Na Figura 5.2, adaptada de (Casals, 2005), mostram-se os consumos médios diários por utilização das duas habitações anteriores, mas considerando um prazo de 30 anos e uma melhor prestação energética da habitação “eficiente”. Neste caso, considera-se que esta apresenta face à habitação “mediana” consumos de aquecimento 80% inferiores e de arrefecimento 40% inferiores. Conforme se verifica, mesmo nestas circunstâncias, para um ciclo de vida de 30 anos a habitação “eficiente” apresenta consumos superiores aos da habitação “mediana”.

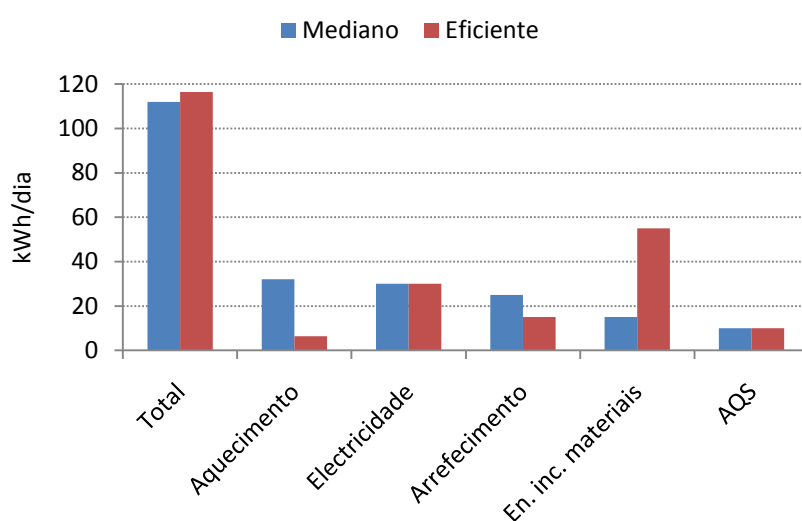


Figura 5.2 – Energia gasta por duas habitações numa base diária, uma de elevada eficiência energética operacional e outra mediana, considerando um ciclo de vida de 30 anos

No que concerne aos edifícios de serviços, os estudos de ciclo de vida integral que se encontram disponíveis são limitados. Todavia, as suas conclusões são qualitativamente idênticas. Caso a análise fosse feita para edifícios de serviços, onde tipicamente os consumos têm maior peso que nas habitações, as linhas dos consumos totais mostradas na Figura 5.1 intersectar-se-iam mais cedo, logo os resultados seriam os mesmos mas para um horizonte temporal mais curto.

A utilização da energia incorporada nos materiais em conjunção com os consumos energéticos operacionais de um edifício constitui assim uma análise mais completa do impacto energético do mesmo, sendo portanto aconselhável a sua introdução nos regulamentos e certificações energéticas. Essa introdução não deverá representar contrariedades de maior, e passaria pela criação de uma tabela de índices de energia incorporada nos materiais de construção utilizados a nível nacional. Estes índices, em conjunto com outros dados que fazem parte do caderno de encargos de qualquer projecto



de construção, serviriam para identificar o correcto ponto de partida de cada um dos edifícios na avaliação do seu impacto energético. Essa tabela seria construída e actualizada por especialistas da área.

## **5.2 Limitação dos consumos de energia renovável**

A importância da escolha de um indicador de eficiência energética apropriado é primordial no sucesso de qualquer sistema de certificação energética, e deverá reflectir todos os objectivos que se pretende alcançar. No actual contexto de limitações dos consumos energéticos a nível nacional e internacional, esse indicador deverá prever tectos de consumos máximos, sejam eles de energia fóssil ou renovável. No actual SCE, esta imposição existe apenas para a energia de origem convencional, não havendo imposição de consumos máximos de energia renovável. Esta situação pode, nalguns casos, proporcionar usos ineficientes de recursos renováveis que comprometem a sustentabilidade.

Por exemplo, um edifício pode no limite apresentar consumos energéticos elevados e altamente ineficientes e irracionais e conseguir, não obstante, uma classificação A+, isto se uma parte significativa dos seus consumos tiver origem em fontes renováveis (através de instalação de PV ou solar-térmico, por exemplo). Neste contexto, existe um mau aproveitamento de um recurso natural e económico, que, apesar de ser renovável, deve ser utilizado de forma sustentada. Desta forma, este edifício, contrariamente ao que a sua classificação energética indicia, pode estar globalmente a contribuir de forma negativa para a sustentabilidade, não partilhando um recurso renovável com a sociedade. Ou seja, um mau edifício com forte incorporação de energias renováveis pode ser A+, mas continua a ser um mau edifício, e o regulamento não deixa que isto transpareça.

## **5.3 Alteração do indicador de eficiência energética**

Uma vez que um dos objectivos do regulamento e sistema de certificação é limitar os consumos globais no sector dos edifícios (em kgep/ano ou kWh/ano), existindo uma estimativa da área útil total do parque edificado, o indicador adoptado, em kgep/m<sup>2</sup>.ano, revela-se, em primeira instância, adequado na persecução desse objectivo. Contudo, será provavelmente mais justo e racional impor restrições em termos dos ocupantes dos edifícios, ao invés de por unidade de área útil, uma vez que é às pessoas que cabe a responsabilidade do cumprimento das metas energético-ambientais, e os edifícios são concebidos para elas. Desta forma, o indicador tomaria as unidades de kgep/ocupante.ano, podendo ser estabelecido um valor máximo de ocupante/m<sup>2</sup>. Ao estabelecer-se

este limite, garante-se que, mesmo que as ocupações por tipologia ultrapassem limites razoáveis, essa situação não é tida em linha de conta para o apuramento do IEE. Isto é, o incremento em ocupação apenas beneficia o IEE até ao limite para a tipologia. Este tipo de indicador penalizaria habitações ou serviços com taxas de ocupação baixas, e dessa forma revelar-se-ia mais eficaz, sob uma perspectiva puramente energética mas também social.

Num exercício académico, peguemos no edifício estudado, que apresenta uma ocupação real relativamente baixa, de 25,8 m<sup>2</sup>/ocupante. Este valor de ocupação inclui ocupantes ocasionais, como por exemplo munícipes que assistem a reuniões de câmara, não sendo portanto apropriado para efeitos de comparação com outros edifícios. Para uma aferição correcta, é necessário fazer uma normalização dos padrões de ocupação dos edifícios comparados. Essa normalização poderá ser efectuada para as semanas de trabalho do ano numa base de 8h/dia aos dias úteis (40 h/semana) mediante a aplicação de um factor de correcção  $F_c$ . Este factor será função dos vários tipos de utilização dos espaços, correspondendo cada tipo de utilização a um perfil  $i$ . Assim, a expressão do factor de correcção toma a forma

$$F_c = \frac{\sum_{i=1}^n (n^{\circ} \text{ocupantes})_i \times \frac{(n^{\circ} \text{horas anuais})_i}{47 \times 40}}{N} \quad (5.1)$$

Sendo:

$(n^{\circ} \text{ocupantes})_i$  – número total de ocupantes reais com o perfil de utilização  $i$ ;

$(n^{\circ} \text{horas anuais})_i$  – número total de horas por ano que cada um dos ocupantes reais com perfil de utilização  $i$  permanece no edifício;

$N$  – número total de ocupantes;

47 – número médio de semanas por ano de trabalho efectivo;

40 – número de horas semanais de trabalho para uma carga horária de 8h/dia.

Portanto, o número de ocupantes normalizados é dado por

$$\text{ocupantes}_{norm} = F_c \times N \quad (5.2)$$

Adoptando esta metodologia no edifício dos Paços do Concelho de Lisboa, que regista uma ocupação de cerca de 105 funcionários em horário de expediente e cerca de 104 visitantes ocasionais (para os cálculos, estimou-se duas vezes por semana, 8h/dia), obtém-se um valor normalizado de 145 ocupantes. Dado que o seu IEE<sub>real,facturas</sub> é de 30,0 kgep/m<sup>2</sup>.ano, temos

$$IEE_{real,ocupantes} = 30,0 \times \frac{5398}{145} = 1117 \text{ kgep/ocupante}_{norm} \cdot ano$$

Trata-se de um valor que ganha significado quando comparado com o equivalente de outros edifícios. Utilizemos para esse efeito o edifício do Lote 5 do Arquiparque, em Oeiras, certificado com classe energética C (Natural Works, 2007). Na Tabela 5.2 apresentam-se os valores de  $IEE_{real,ocupantes}$  e outros parâmetros relevantes de ambos os edifícios.

Tabela 5.2 – Valores de  $IEE_{real,ocupantes}$  e outros parâmetros relevantes dos edifícios dos Paços do Concelho de Lisboa e do Lote 5 do Arquiparque em Oeiras

	CML	Arquiparque
Tipologia	<i>Serviços – Tribunais, ministérios e câmaras</i>	<i>Serviços – Escritórios</i>
Área (m <sup>2</sup> )	5398	4602
Ocupação	209	353
F <sub>c</sub>	0,69	1,00
Ocupantes normalizados	145	353
Densidade ocupação real normalizada (m <sup>2</sup> /ocupante)	37,2	13,0
Densidade de iluminação (W/m <sup>2</sup> )	35,3	13,3
Densidade equipamento real (W/m <sup>2</sup> )	5,5	13,5
IEE <sub>real</sub> (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	30,0	53,9
IEE <sub>real,ocupantes</sub> (kgep/ocupante <sub>norm</sub> .ano)	1117	703

A Figura 5.3 apresenta uma comparação dos valores de  $IEE_{real}$  na forma de gráfico.

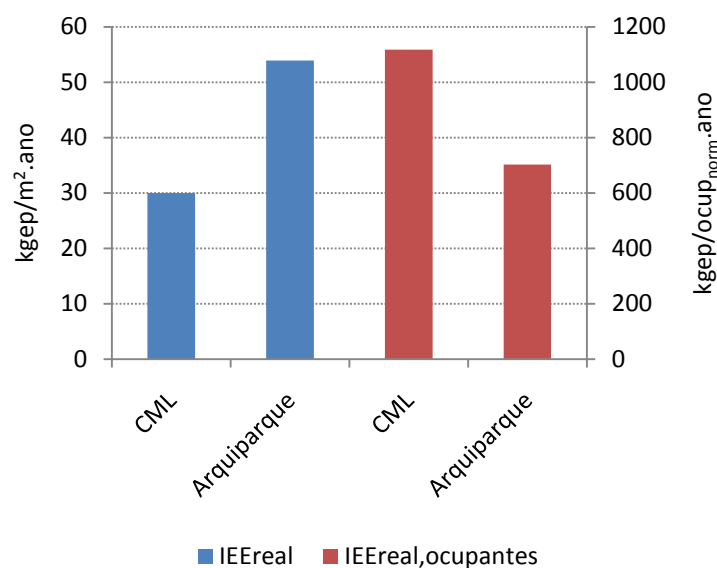


Figura 5.3 – Valores  $IEE_{real}$  para os edifícios da CML e Arquiparque em base de área útil e base ocupacional normalizada

Não obstante os edifícios pertencerem a tipologias diferentes, o seu tipo de utilização final não é fundamentalmente díspar, pois são ambos edifícios de serviços. Como se verifica, em condições reais o edifício da CML apresenta consumos globais específicos por área substancialmente inferiores aos do edifício Arquiparque. Contudo, existe uma inversão nesta seriação se forem considerados antes os consumos globais específicos em base ocupacional normalizada. Nesse domínio, o edifício do Arquiparque leva a vantagem.

Para efeitos de comparação dos edifícios em regime nominal, o edifício da CML foi simulado para a tipologia do edifício do Arquiparque (*Serviços – Escritórios*). Os resultados para o Indicador de Eficiência Energética nominal são os que se apresentam na Figura 5.4. Na mesma figura apresenta-se igualmente esse indicador numa base ocupacional nominal.

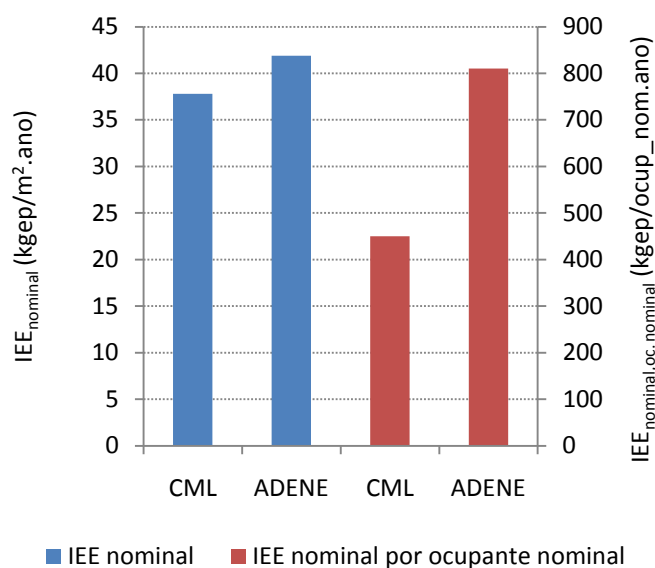


Figura 5.4 – Valores de  $IEE_{nominal}$  para os edifícios da CML e do Arquiparque, ambos simulados para a tipologia de *Serviços – Escritórios*.

À luz do  $IEE_{nominal}$ , o edifício da CML é cerca de 10% mais eficiente que o edifício do Arquiparque, pertencendo ambos à mesma classe energética (C). Contudo, à luz do  $IEE_{real,ocupantes}$  (Figura 5.3) o edifício da CML já é cerca de 37% menos eficiente, o que decorre da sua baixa densidade de ocupação real. Em gastos energéticos por ocupante, e por produtividade, logo em intensidade energética, temos portanto que o edifício do Arquiparque é mais eficiente que o da CML. O SCE, tal como existe, não deixa transparecer esta situação.

Para o apuramento do  $IEE_{nominal}$  em base ocupacional real normalizada, importaria alterar o regulamento no sentido de este, para condições nominais, passar a considerar este tipo de ocupação para as várias tipologias, e não uma ocupação em função da área.

Outro tipo de indicador útil seria em base pecuniária e ocupacional, que tivesse em conta custos energéticos por ocupante, ao invés de consumos de energia primária por  $m^2$  de área útil. Um indicador deste tipo seria vantajoso e mais intuitivo em alguns sectores, como o dos serviços, permitindo que proprietários e gestores de empresas tivessem de forma imediata uma noção exacta do custo que cada colaborador representa em energia. Novamente para os dois edifícios, para a base ocupacional real não normalizada e base real normalizada, esses custos são os que se apresentam na Tabela 5.3. Também neste domínio o edifício do Arquiparque apresenta vantagem sobre o da CML.

Tabela 5.3 – Custos energéticos *per capita* para os edifícios da CML e do Arquiparque

	CML	Arquiparque
Custo energético <i>per capita</i> – ocupação real (€/ocupante <sub>real</sub> .ano)	307	285
Custo energético <i>per capita</i> – ocupação real normalizada (€/ocupante <sub>norm</sub> .ano)	443	285

## 5.4 Extensão do âmbito do SCE

Outra evolução possível no sistema de certificação adoptado em Portugal é a extensão do seu âmbito a parâmetros não intrínsecos aos próprios edifícios, mas importantes na avaliação da sua sustentabilidade energética. Em particular, a extensão do sistema de certificação aos consumos energéticos inerentes às deslocações dos ocupantes dos edifícios em viatura própria. Em energia primária e emissão de gases com efeito de estufa, estas deslocações podem ter um peso superior ao de qualquer uma das componentes dos consumos em edifícios, como a da climatização ou a dos equipamentos existentes, dependendo da localização geográfica deste e das acessibilidades existentes.

Por exemplo, atente-se ao caso de um edifício de serviços que ostenta uma boa classificação energética mas está mal localizado, do ponto de vista geográfico e das acessibilidades. Esta situação irá muito provavelmente forçar os funcionários a deslocações em transporte próprio, e globalmente o edifício terá uma contribuição negativa na óptica da sustentabilidade energética. O mesmo se aplica a edifícios residenciais fora dos centros urbanos onde os seus ocupantes exercem actividade profissional.

Assim, de um ponto de vista holístico, é pertinente que os requerimentos em energia para transporte dos ocupantes dos edifícios sejam também considerados na avaliação da sustentabilidade energética desses edifícios. Porém, visto tratar-se de um parâmetro não intrínseco aos próprios edifícios, e poder alterar-se de acordo com uma série de factores (novas vias rodoviárias, desenvolvimentos tecnológicos no sector automóvel, etc.), a sua introdução no sistema de certificação energética carece de uma análise cuidada. Os sistemas LEED, norte-americano, e o BREEAM, inglês, poderão servir de casos de estudo na evolução para um sistema de certificação integrado em Portugal.

## **5.5 Outras limitações**

No exercício da aplicação do SCE a um edifício existente, encontrou-se ainda uma outra limitação do regulamento, que, à semelhança das restantes mencionadas, poderá fazer reduzir o seu sucesso na contenção dos consumos em edifícios existentes.

No apuramento da classe e Indicador de Eficiência Energética, existem parâmetros que são simulados em condições definidas regulamentarmente (condições nominais). Nomeadamente, no caso da tipologia do edifício estudado, esses parâmetros são a ocupação, a densidade de equipamento, o funcionamento da iluminação exterior e os perfis de ocupação, iluminação e utilização de equipamentos (ver Secção 4.5.2).

No que diz respeito ao equipamento, isto leva a que na consideração da prestação energética do edifício não sejam considerados os equipamentos que realmente existem no edifício. Tal permite que edifícios com equipamento instalado já obsoleto e energeticamente pouco eficiente não sejam penalizados, o que não é desejável. Por outro lado, um proprietário ou locatário de edifício de serviços que invista em equipamentos de última geração com excelentes prestações energéticas não vê o seu edifício beneficiado no contexto do actual SCE.

Noutro campo, o da formação de técnicos, sugere-se a criação de uma especialidade de energia em edifícios no ensino universitário português, que seja devidamente acreditada pela ordem profissional, e que forme de raiz especialistas nos campos da física de edifícios. Isto permitiria que estes profissionais, ao agregarem várias valências dentro da área, tivessem uma visão vasta da ciência dos edifícios. Tal traria mais-valias ao sistema, uma vez que, actualmente, aos profissionais da área, pertencendo a várias especialidades, falta-lhes muitas vezes a capacidade de analisar de uma perspectiva suficientemente ampla as questões da energia em edifícios.

O desenvolvimento dos conceitos abordados nesta secção deixa-se como sugestão para trabalhos futuros que visem a melhoria do SCE.

## 6. Conclusões

Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% da energia primária utilizada na maioria dos países. O cenário absoluto está a crescer fortemente, como é exemplo o desenvolvimento rápido de construção em países como a China e a Índia. Pela análise deste panorama, mostra-se na Secção 1 que é essencial agir neste sector, pois os edifícios podem dar um grande contributo para a redução da emissão de gases com efeito de estufa e contenção do aquecimento global. E não há tempo a perder, uma vez que já existe actualmente o conhecimento e a tecnologia para reduzir a utilização de energia nos edifícios, enquanto ao mesmo tempo se melhora os níveis de conforto.

Neste trabalho aplicou-se uma das ferramentas de promoção da eficiência energética em Portugal, o Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior, a um edifício de serviços emblemático na cidade de Lisboa, o dos Paços do Concelho da Câmara Municipal. Os consumos energéticos do edifício foram previstos para diferentes cenários utilizando um modelo de simulação computacional calibrado através de dados de consumo real. Por análise destes dados, determinou-se que o  $IEE_{real\ facturas}$  é de 30,0 kgep/m<sup>2</sup>.ano.

Do processo de calibração do modelo de simulação resultaram as seguintes conclusões:

- A margem de erro global foi de 2,6%, inferior à variabilidade interanual verificada nos consumos energéticos facturados, que é na ordem de 11%;
- Numa base mensal, o erro máximo entre o facturado e o previsto por simulação é sempre inferior a 15%;

O modelo de simulação validado permitiu concluir que:

- A iluminação é a grande responsável pela factura de energia eléctrica do edifício, atribuindo-se-lhe 55% dos consumos;
- À climatização cabe a segunda maior fatia dos consumos, com 31%;
- O  $IEE_{real, simulação}$  é de 29,3 kgep/m<sup>2</sup>.ano.

O edifício, dado o seu carácter simbólico e histórico, apresenta algumas limitações no campo das intervenções de reabilitação energética. Após uma análise cuidadosa, foram identificadas algumas com exequibilidade. Nomeadamente, as medidas propostas foram nos campos da iluminação, produção própria de energia com recurso a painéis fotovoltaicos e melhoria do COP do sistema de admissão de ar novo mediante aproveitamento geotérmico. Estas medidas foram sempre estudadas numa perspectiva de custo/benefício.



No que concerne aos consumos reais do edifício, concluiu-se que estes reduzir-se-ão em 28,6% caso todos os cenários considerados de optimização energética sejam adoptados. Contudo, nem todos isoladamente apresentam um período de retorno simples inferior aos oito anos previstos na lei para implementação obrigatória. Uma análise caso a caso revela que:

- O período de retorno mais curto é de 6,5 anos, correspondente a um cenário de optimização energética com redução da potência de iluminação em alguns espaços e do seu perfil de utilização;
- A incorporação de uma bomba de calor geotérmica no sistema de tratamento de ar novo apresenta um período de retorno de 10,5 anos;
- O cenário de aproveitamento fotovoltaico tem a desvantagem de apresentar custos de instalação ainda muito elevados (estimam-se em 800 €/m<sup>2</sup>), pelo que o seu período de retorno, de 38 anos, é muito desfavorável.

No capítulo da simulação em condições nominais, foi apurado para o edifício:

- Um Indicador de Eficiência Energética nominal de 20,5 kgep/m<sup>2</sup>.ano. Este valor coloca o edifício acima do valor limite de referência para a tipologia, que é de 15 kgep/m<sup>2</sup>.ano. Este incumprimento obriga o proprietário do edifício a aplicar um Plano de Racionalização Energética, constituído pelas medidas de optimização energética apresentadas;
- Uma classificação C no que respeita à classe energética, no limiar da passagem para a classe D;
- Se implementadas todas as medidas de optimização energética, a sua classe muda para B-.

Mediante este exercício de aplicação do SCE e através de um exame aos princípios que estão subjacentes a qualquer sistema de certificação energética, encontraram-se algumas limitações qualitativas no sistema adoptado em Portugal, nomeadamente:

- Na actual formatação do SCE, a energia dispendida no fabrico dos materiais que compõem os edifícios não é tida em conta. Esta energia pode ter um peso determinante no impacto energético de um edifício, uma vez que os materiais que propiciam uma maior eficiência energética têm frequentemente associados processos de fabrico energeticamente intensivos. E a energia gasta nestes processos faz reduzir e, no limite, anula os ganhos decorrentes duma maior eficiência energética que esses materiais possam proporcionar;
- O regulamento actual não prevê limitações nos consumos de energia renovável nos edifícios, o que pode proporcionar usos indisciplinados de recursos naturais. Não obstante serem renováveis, o seu uso deve ser regado. Um mau edifício do ponto de vista da eficiência

energética com forte incorporação de energias renováveis pode ter classificação A+, mas continua a ser um mau edifício;

- Caso o indicador de eficiência energética fosse calculado em função dos ocupantes dos edifícios, ao invés da área útil, seria socialmente vantajoso, uma vez que habitações ou serviços com taxas de ocupação baixas saíam penalizados. À luz do regulamento, o edifício da CML consome menos por área útil de pavimento que o edifício do Lote 5 do Arquiparque, edifício de serviços que foi utilizado para efeitos comparativos. Respectivamente, os valores são de 30,0 kgep/m<sup>2</sup>.ano e 53,9 kgep/m<sup>2</sup>.ano (o edifício do Arquiparque consome mais 80% que o da CML). Já numa base ocupacional normalizada, a seriação inverte-se, com o edifício da CML a ser mais gastador em 37% que o do Arquiparque. Respectivamente, 1117 kgep/ocupante<sub>norm</sub>.ano e 703 kgep/ocupante<sub>norm</sub>.ano. O regulamento não deixa transparecer esta situação;
- Existiriam vantagens caso o âmbito do SCE fosse estendido a mais parâmetros. Em particular, aos consumos energéticos inerentes às deslocações em viatura própria dos ocupantes dos edifícios. Os sistemas de certificação ao não incluírem esta variável permitem que edifícios mal localizados, que forçam os seus ocupantes a deslocações em transporte próprio, possam ter uma boa classificação energética. E estes edifícios podem estar a contribuir negativamente do ponto de vista da sustentabilidade energética.

Deixa-se o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos conceitos abordados na secção de *Limitações qualitativas do SCE* como sugestão para trabalhos futuros que visem a sua melhoria.

## Referências

ADENE. (2006). *Consumo Doméstico*.

ADENE. (2009). *Perguntas & Respostas sobre o RCCTE, v1.5*.

ADENE. (2008). *Perguntas & Respostas sobre o RSECE - Energia, v1.2*.

ADENE. (2009). *Perguntas e Respostas sobre o SCE, v1.2*. ADENE.

ADENE. (2008). *SGCIE – Enquadramento e Objectivos*. Obtido em Agosto de 2009, de <http://www.adene.pt/SGCIE/pages/ContentEnquadramento.aspx>

Al-Homoud, M. S. (2001). Computer-aided building energy analysis techniques. *Building and Environment*, pp. 421-423.

Amaral, J. (2008). Obtido em Junho de 2009, de <http://www.joaoamaralphoto.com>

ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook - Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Câmara Municipal de Lisboa. (2009). Obtido em Agosto de 2009, de [cm-lisboa.pt](http://www.cm-lisboa.pt/): <http://www.cm-lisboa.pt/>

CammetENERGY. (2009). RETScreen Clean Energy Project Analysis Software. Canada.

Casals, X. G. (2005). Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences. *Energy and Buildings*, pp. 381-392.

Centre for Building Performance Research. (2007). Obtido em Setembro de 2009, de <http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf>

Clarke, J. (2001). *Energy Simulation in Building Design*. Butterworth-Heinemann.

Comissão Europeia. (1998). Council Resolution of 7 December 1998 on energy efficiency in the European Community Commission. Official Journal of the European Communities.

Crawley, D. B., Lawrieb, L. K., Winkelmann, F. C., Buhle, W., Huang, Y. J., Pedersen, C. O., et al. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, pp. 319-331.

DGEG. (2006). Balanço Energético de 2006, Energia Final. DGEG.

DGEG. (2009). Direcção-Geral de Energia e Geologia.

Directorate-General Energy and Transport - European Commission. (2009). Obtido em Julho de 2009, de Pan European Database of Energy Efficient Appliances: <http://www.homespeed.org/index.html>

- Energy Information Administration. (2006). International Energy Outlook 2006. Energy Information Administration.
- EuroACE. (2004). *Towards Energy Efficient Buildings in Europe*. London.
- Eurostat. (2007). *Eurostatistics*. European Comission.
- Farinha, J. S. (1995). *O Metropolitano e a Baixa de Lisboa: condições geotécnicas e históricas*. Metropolitano de Lisboa.
- Hong, T., Chou, S. K., & Bong, T. Y. (2000). Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and Environment* , pp. 347-361.
- IEA. (2008). *World Energy Outlook*. International Energy Agency.
- IPCC. (2007). IPCC Fourth Assessment Report. *Climate Change 2007 Synthesis Report* .
- JRC European Comission. (2009). Obtido em Julho de 2009, de Photovoltaic Geographical Information System: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- Mascarenhas, J. (2004). *Sistemas de Construção V - O Edifício de Rendimento da Baixa Pombalina de Lisboa*. Livros Horizonte.
- Ministério da Economia e da Inovação. (04 de Abril de 2006). Decreto-Lei nº 78/2006. *Diário da República* .
- Ministério da Economia e da Inovação. (04 de Abril de 2006). Decreto-Lei nº 79/2006. *Diário da República* .
- Ministério da Economia e da Inovação. (04 de Abril de 2006). Decreto-Lei nº 80/2006. *Diário da República* .
- Natural Works. (2007). *Auditoria Energética no âmbito do SCE (edifício ADENE)*.
- Olsen, E. L., & Chen, Q. (2003). Energy consumption and comfort analysis for different low-energy cooling systems in a mild climate. *Energy and Buildings* , pp. 561-571.
- Onésino Figueira Benito Silva. (2008). *Análise da reabilitação da Torre Norte do IST face à introdução da certificação em edifícios de serviços existentes* .
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., González, R., & Maestre, I. R. (2009). A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy and Buildings* , pp. 272-278.
- Rodrigues, A. M., Piedade, A. C., & Braga, A. M. (2009). *Térmica de Edifícios*. Edições Orion.
- Roriz, L. (1999). O Regulamento de Gestão do Consumo de Energia: necessidade da revisão do regulamento.

U.S. Department of Energy. (2009). EnergyPlus: Engineering Reference.

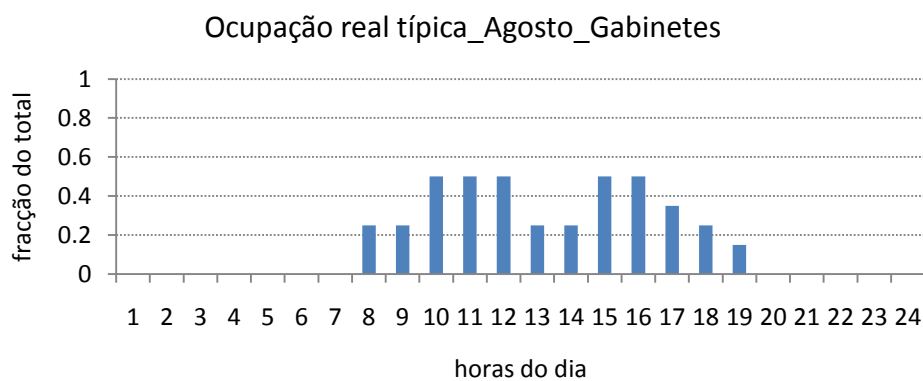
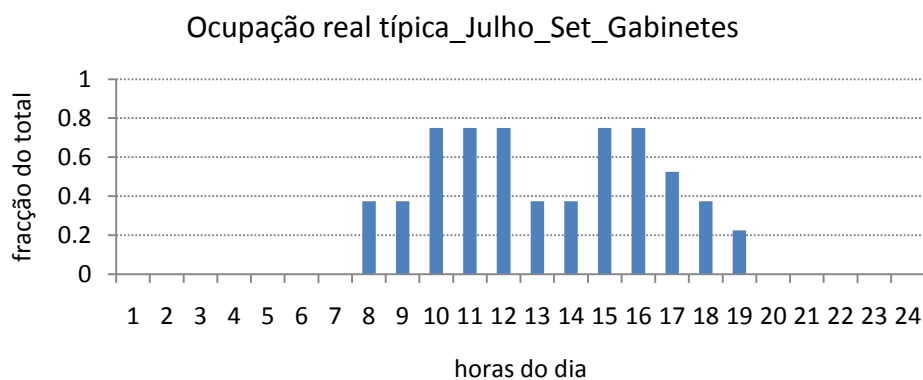
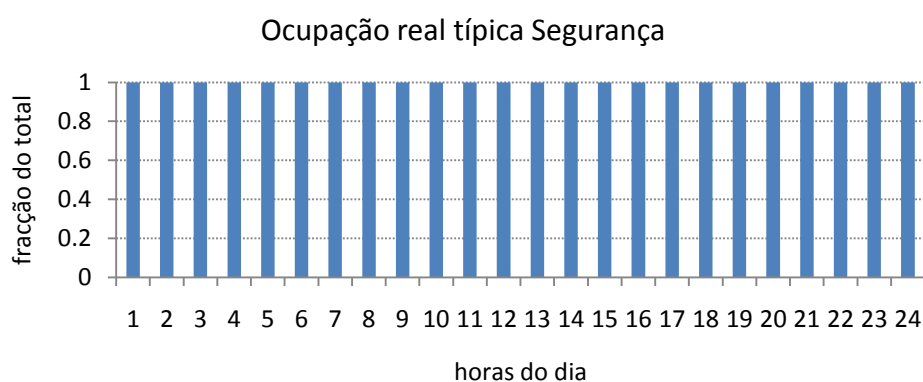
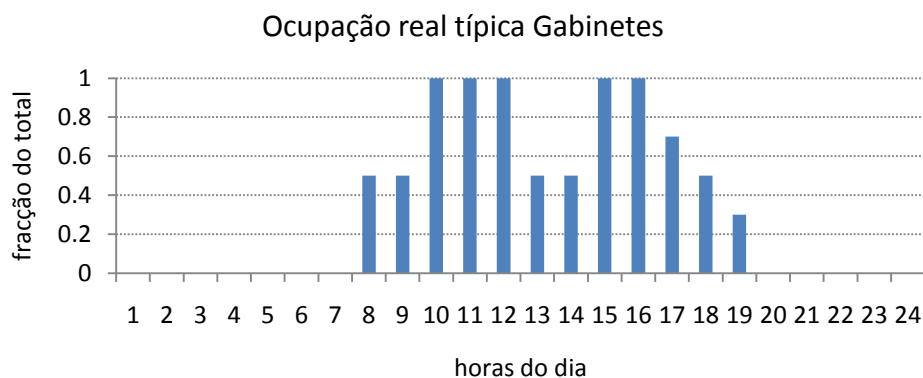
U.S. Department of Energy. (2009). EnergyPlus: Input/Output Reference.

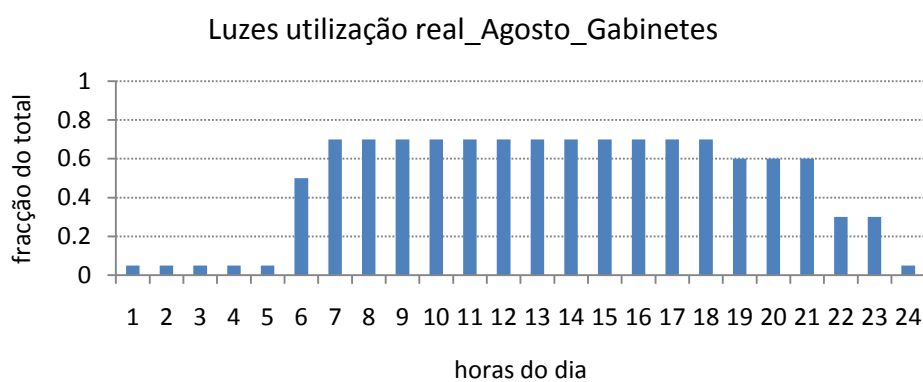
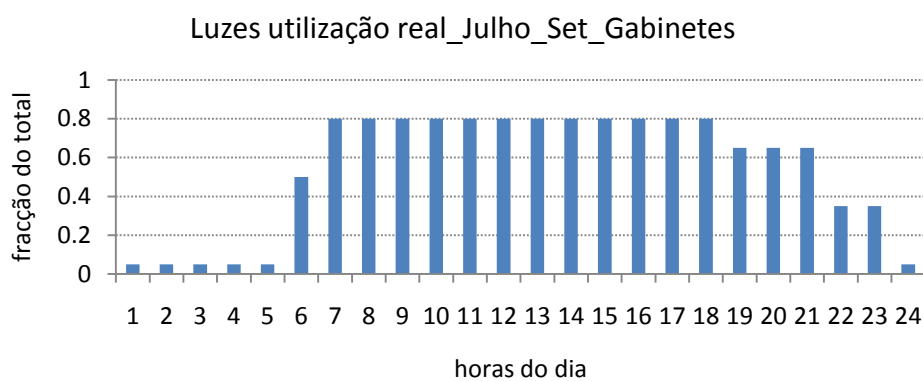
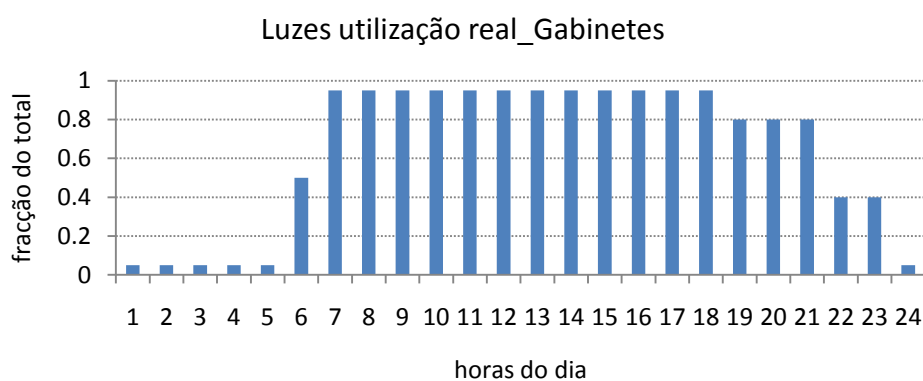
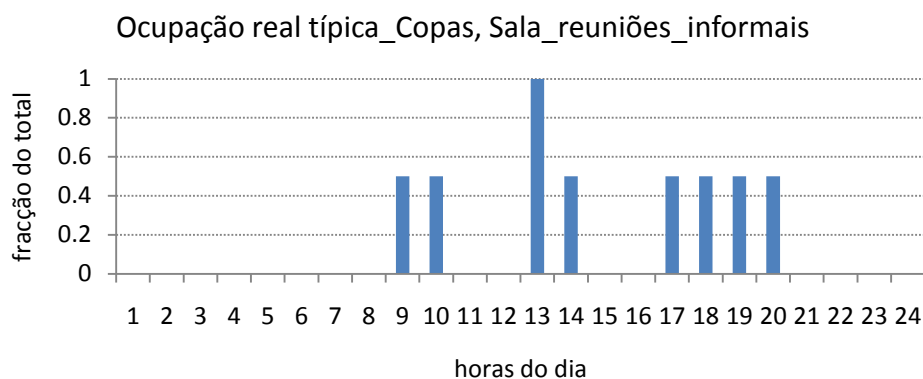
UE. (2002). Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Comissão Europeia.

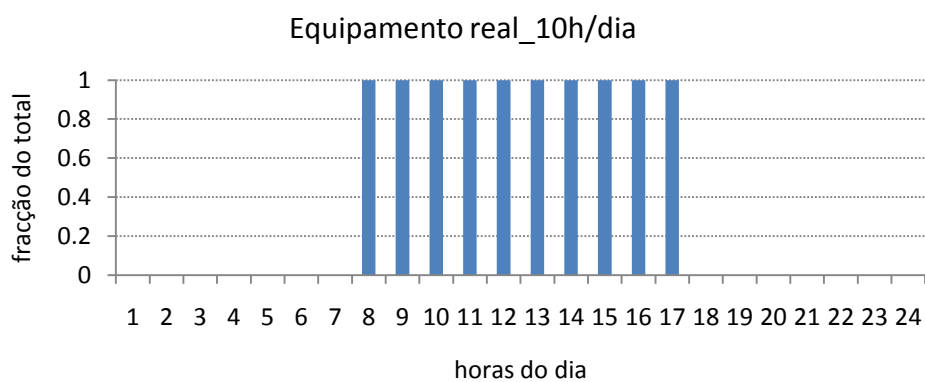
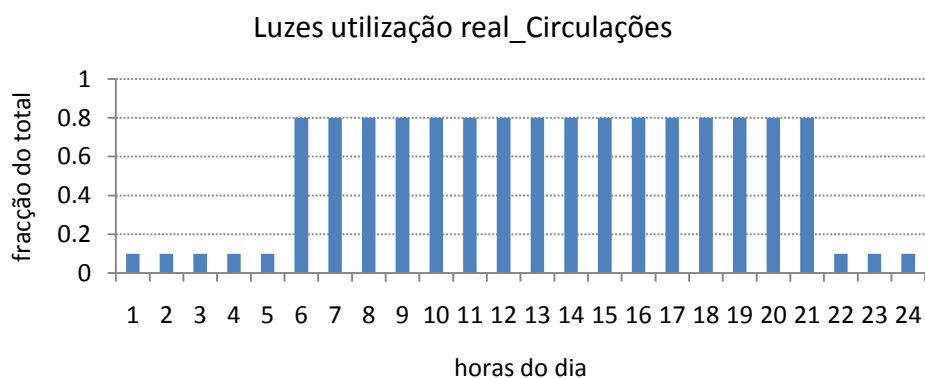
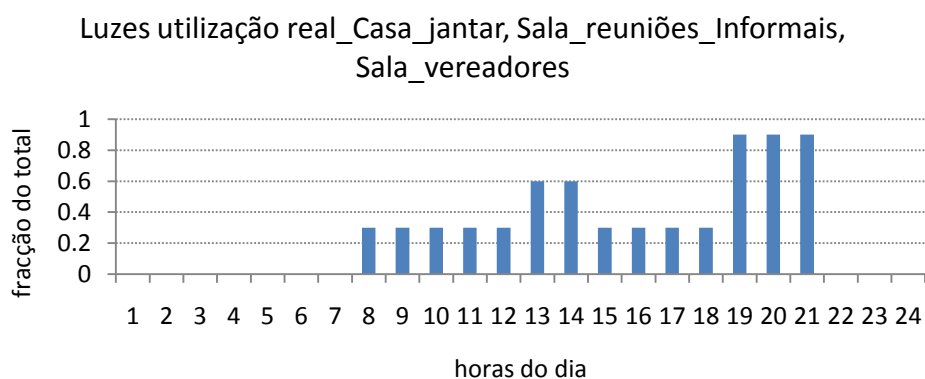
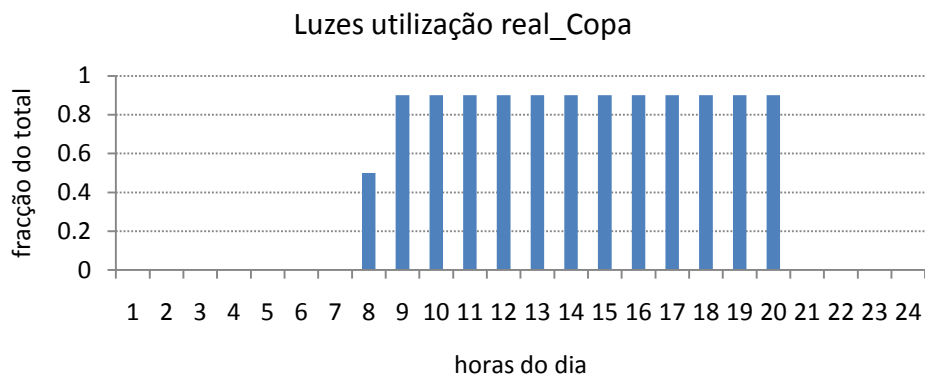
WMO. (2009). *World Meteorological Organization*. Obtido em Agosto de 2009, de <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.html>

World Business Council for Sustainable Development. (2008). *Energy Efficiency in Buildings - Facts & Trends*.

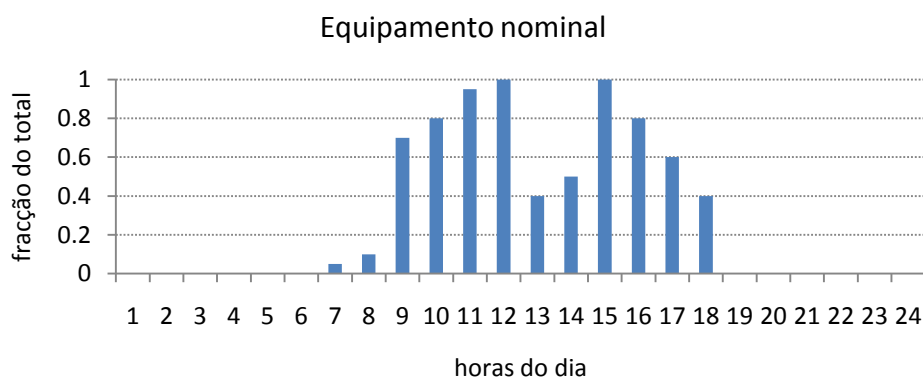
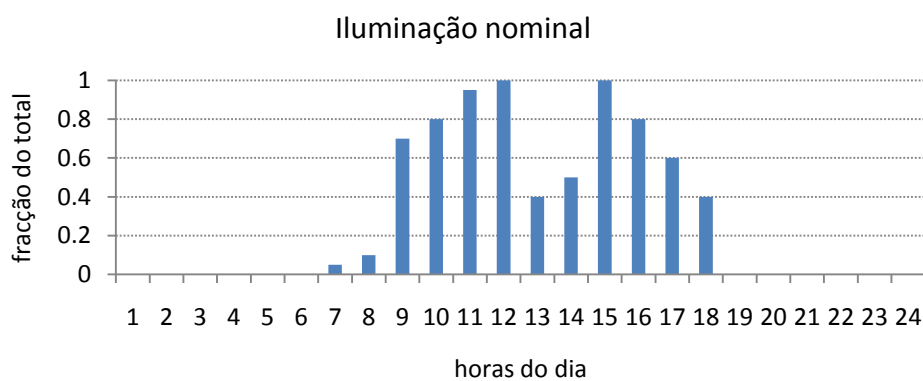
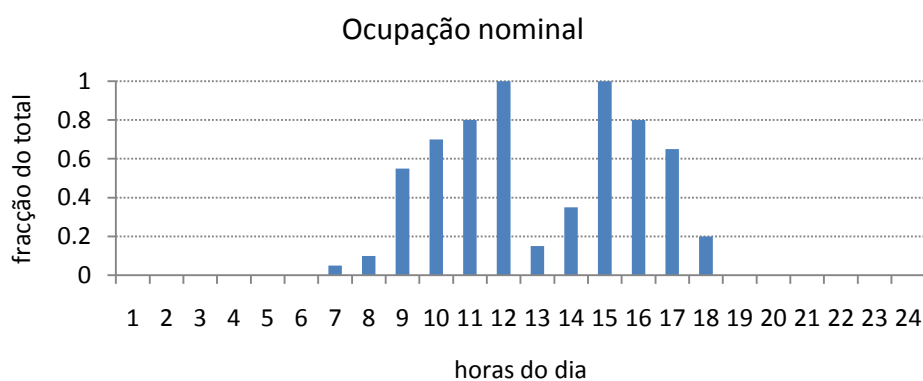
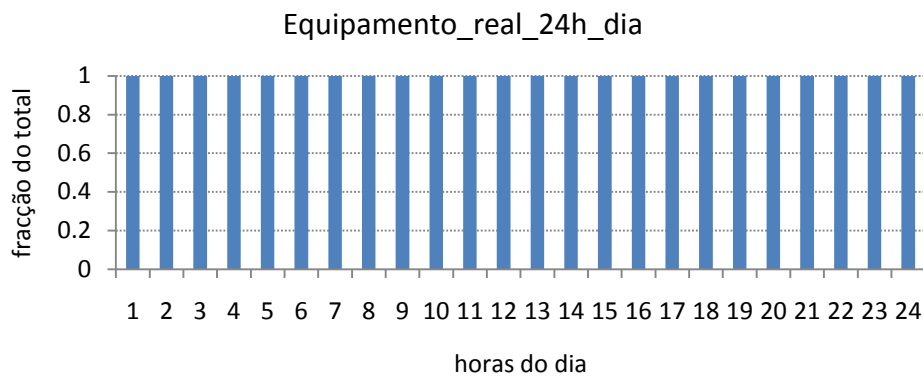
## Anexo A – Perfis horários de ocupação e utilização (de segunda a sexta)











## Anexo B – Consumos facturados de electricidade nos últimos três anos

Desde	Até	Total activa (kWh)
20-Jan-06	18-Fev-06	55960
19-Fev-06	20-Mar-06	50770
21-Mar-06	24-Abr-06	45770
25-Abr-06	22-Mai-06	43090
23-Mai-06	20-Jun-06	62530
21-Jun-06	18-Jul-06	60680
19-Jul-06	18-Ago-06	67160
19-Ago-06	20-Set-06	66570
21-Set-06	19-Out-06	54540
20-Out-06	21-Nov-06	47580
21-Dez-06	18-Jan-07	48750
19-Jan-07	16-Fev-07	53850
17-Fev-07	20-Mar-07	45580
21-Mar-07	19-Abr-07	38640
20-Abr-07	18-Mai-07	41060
19-Mai-07	20-Jun-07	43230
21-Jun-07	18-Jul-07	44080
19-Jul-07	16-Ago-07	46630
19-Jan-07	16-Fev-07	41857
17-Fev-07	20-Mar-07	41140
21-Mar-07	19-Abr-07	40424
16-Nov-07	17-Dez-07	46650
18-Dez-06	31-Dez-06	48220
01-Jan-07	16-Jan-07	14896
17-Jan-08	18-Fev-08	46700
19-Fev-08	17-Mar-08	40360
18-Mar-08	15-Abr-08	39640
16-Abr-08	16-Mai-08	39070
17-Mai-08	18-Jun-09	41250
19-Jun-08	15-Jul-08	43910
16-Jul-08	18-Ago-08	51950
19-Ago-08	15-Set-08	42370
16-Set-08	15-Out-08	44540
16-Out-08	17-Nov-08	42810
19-Nov-08	17-Dez-08	46220
18-Dez-08	31-Dez-08	20567
01-Jan-09	19-Jan-09	27913
Total:		1676957
Média anual:		558986
kWh/m <sup>2</sup> .ano:		103,55

## Anexo C – Elementos de zonas

Zonas	real (m³/h)		RSECE AN (m³/h)	Cumprido?	RSECE AN nominal (m³/h)	ocupantes (pax)	Área (m²)	Pé direito (m)	Volume (m³)	Super Ventilado? (S/N)	Infiltração (RPH)	equipamento (W)		Iluminação (W)
	caudal AN	caudal VC										schedule 10h/dia	schedule 24h/dia	
P1_Biblioteca	1600	3300	150	sim	1021,68	5	510,84	9,41	4807,0	n	1,05	0	0	7647
P1_Escadaria_de_pedra	0	0	0	sim	0	0	130,53	18,8	2454,0	n	0,45	0	0	1430
P1_Sala_sesoes_publicas	1500	7080	2820	não	2340	94	165,41	9,41	1556,5	n	1,05	5	0	5508
P1_Recepcao	0	2810	1269	não	1297	4	125,02	9,41	1176,4	n	0,45	600	0	2696
P1_Seguranca	0	770	148,7	não	137,7	4	28	6,65	186,2	n	0,45	670	500	576
P1_Circulacao	0	0	0	sim	0	0	53,15	6,65	353,4	n	0,45	0	0	234
P1_Copa	0	0	60	não	34	2	17	6,65	113,1	n	0,45	150	0	288
P1_Escadaria_central	0	0	0	sim	0	0	779,76	20,94	16328,2	n	0,45	0	0	12894
P1_Galeria_de_exposicoes	0	5100	560	não	560	6	200,38	9,41	1885,6	n	0,45	0	0	6142
P1_Atrio_principal	0	0	0	sim	0	0	210	9,41	1976,1	s	3,00	0	0	1400
Plnt_Gabinetes	450	3280	241,5	sim	241,5	4	72,06	2,76	198,9	n	1,05	1090	1600	1296
P2_Gabinetes_NE	450	1440	538,2	não	538,2	3	131	5,66	741,5	n	1,05	443	0	3078
P2_Escadaria_de_madeira	0	0	0	sim	0	0	97,89	11,53	1128,7	n	0,45	0	0	2808
P2_Sala_de_reunioes_informais	800	3060	4175,5	não	4175,5	4	119,3	5,66	675,2	n	1,05	0	0	2856
P2_Gabinetes_S	400	6960	1494,75	não	1494,75	7	369,4	5,66	2090,8	n	1,05	1795	50	8790
P2_Salao_Nobre	0	4000	4150	não	4150	30	207,5	9,39	1948,4	n	0,45	5	0	7704
P2_Gabinetes_NW	700	4020	895,7	não	895,7	5	205,6	5,66	1163,7	n	1,05	1245	0	4042
P2_Circulacoes	150	0	60	sim	38,02	2	39,93	5,66	226,0	n	1,05	0	0	170
P3_Casa_de_jantar	0	2000	210	não	110,18	6	47,22	3,73	176,1	n	0,45	0	0	9040
P3_Sala_vereadores	800	2970	4551,4	não	4551,4	6	130,04	5,87	763,3	n	1,05	0	0	600
P3_Gabinetes_S	1100	6000	1339,85	não	1339,85	11	309,23	3,73	1153,4	n	1,05	2163	0	6732
P3_Gabinetes_N	750	2860	648,7	sim	641,95	12	169,1	3,73	630,7	n	1,05	2858	0	3712
P3_Circulacoes	0	0	0	sim	0	0	50,24	3,73	187,4	n	0,45	0	0	204
P3_Cozinha	0	0	60	não	35,94	2	23,97	3,73	89,4	n	0,45	1318	150	288
P4_Galeria_AVAC_SV_N	0	0	0	sim	0	0	411,68	2,14	881,0	s	3,00	0	0	1356
P4_Circulacao	0	0	0	sim	0	0	221,96	2,14	475,0	n	0,45	200	500	1224
P4_Galeria_AVAC_SV_S	0	0	0	sim	0	0	463,38	2,14	991,6	s	3,00	0	0	864
P4_Arrumos_CM	0	0	510,75	não	510,75	2	108,6	2,14	232,4	n	0,45	0	0	576
Cupula_base	0	0	0	sim	0	0		8	1072,3	n	0,45	0	0	0